จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทุนประดิษฐ์
กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช
รายงานประดิษฐ์

เครื่องจำลองการสูบน้ำและอัดเติมน้ำใต้ดิน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดย
สุจริต กุณฑนกุลวงศ์
กฤษดา วิศวธีรานนท์

มิถุนายน 2545

จฬ
วท 15
011712

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โครงการสิ่งประดิษฐ์
กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เครื่องจำลองการสูบน้ำและอัดเติมน้ำใต้ดิน

โดย
รศ.ดร. สุจริต คูณธนกุลวงศ์
รศ.กฤษดา วิศวธีรานนท์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มิถุนายน 2545

17 ธ.ค. 2546
I20824691

คำนำ

รายงานฉบับนี้เขียนขึ้นเพื่อสรุปผลการออกแบบสิ่งประดิษฐ์ในโครงการสิ่งประดิษฐ์ ของกองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สิ่งประดิษฐ์ชุดนี้จัดทำขึ้นเพื่อให้สามารถจำลองการไหลของน้ำภายใต้สภาวะแรงดันทั้งแบบสูบและแบบอัดเติม ซึ่งได้ใช้ศาสตร์ความรู้ทั้งจากแขนงวิศวกรรมแหล่งน้ำ โยธา ไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์เข้ามาประสานกัน รายงานฉบับนี้จึงประกอบด้วยข้อมูลภาคทฤษฎี ขั้นตอนและผลการออกแบบ ตัวอย่างการทดลองใช้งาน พร้อมคู่มือการใช้อุปกรณ์ เพื่อให้สามารถนำไปใช้เป็นอุปกรณ์การเรียนการสอนและการวิจัยของมหาวิทยาลัยต่อไป

ทีมงานวิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า อุปกรณ์ดังกล่าวและรายงานชุดนี้จะเป็นประโยชน์ในการศึกษาค้นคว้าให้เข้าใจพฤติกรรมการไหลตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้

คณะผู้วิจัย

มิถุนายน 2545

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เลขหมู่ ๙๙๙
ล๙ 15
เลขทะเบียน 011712
วัน,เดือน,ปี

กิตติกรรมประกาศ

ในการดำเนินการศึกษา ออกแบบ จัดซื้อและประกอบอุปกรณ์ชิ้นนี้ คณะผู้วิจัยได้รับความร่วมมืออย่างดีจากทีมงานผู้ช่วย ได้แก่ นายนพดล เฉลิมชัยรัตนกุล นายเอกวิทย์ หิรัญบูรณะ ที่ได้สละเวลาในการศึกษา ค้นคว้า คำนวณงานต่างๆ นอกจากนี้ยังได้รับความช่วยเหลือด้านเทคนิคจากครูปฏิบัติการและเจ้าหน้าที่เทคนิค ของห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทางคณะผู้วิจัยต้องขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ รวมทั้งการเอื้อเฟื้อสถานที่ทำการประดิษฐ์และทดลอง จากภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ท้ายสุดนี้ต้องขอขอบคุณกองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนวิจัยและสนับสนุนแนวคิดในการประดิษฐ์อุปกรณ์การวิจัยครั้งนี้ จนเกิดเป็นผลงานจริงได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชื่อโครงการ เครื่องจำลองการสูบน้ำและอัดเติมน้ำใต้ดิน
ชื่อผู้ดำเนินการ รศ.ดร. สุจริต คูณธนกุลวงศ์
รศ.กฤษดา วิศวธีรานนท์
เดือนและปีที่ทำเสร็จ มิถุนายน 2545

บทคัดย่อ

เครื่องมือที่ประดิษฐ์ขึ้นเป็นอุปกรณ์เพื่อใช้ทำการทดลองการไหลของน้ำใต้ดินในตัวกลางพรุนในสภาพความดัน โดยมีทิศทางทั้งแบบสูบน้ำและเติมน้ำได้ อุปกรณ์นี้สามารถทำการทดลองได้ในสภาพความดัน 0-20 เมตรของน้ำ อัตราการไหล 0-3.6 ลิตรต่อวินาที ซึ่งเป็นการไหลที่มีเรย์โนลนัมเบอร์เท่ากับ 0-170 เครื่องมือที่ประดิษฐ์ประกอบด้วยส่วนหลัก 3 ส่วน คือ (1) แบบจำลองชั้นน้ำ-บ่อบาดาล เป็นโครงสร้างเหล็กรูปแบบส่วนหนึ่งของวงกลม มีรัศมี 2 เมตร หนา 0.2 เมตร มีมุมที่จุดศูนย์กลาง 30 องศา บ่อบาดาลมีขนาด 0.2 เมตร ความสูง 0.4 เมตร (2) ระบบหมุนเวียนน้ำ มีถังเก็บน้ำขนาด 0.5×1.0×0.8 เมตร เครื่องสูบน้ำขนาด 4 แรงม้า ระบบท่อและวาล์ว กล่องกระจายน้ำและฝายวัดอัตราการไหล (3) ระบบควบคุม วัด เก็บและแสดงผลข้อมูล มีตัวปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ มีระบบการเก็บข้อมูลความดัน ความสูงน้ำล้นฝาย เครื่องเก็บข้อมูล 16 ช่องสัญญาณ ซอฟแวร์คอมพิวเตอร์เพื่อใช้จัดการโอนถ่าย แสดงผลและสรุปผลการทดลองในเครื่องคอมพิวเตอร์พีซี

ผลการทดสอบพบว่า เครื่องมือที่ประดิษฐ์ขึ้นสามารถจำลองสภาพการไหลผ่านตัวกลางพรุนภายใต้แรงดันและวัดอัตราการไหล การกระจายของความดัน ณ จุดต่างๆของเครื่องมือในสภาพน้ำเปล่าและตัวกลางพรุนได้ ระบบควบคุมและบันทึกสามารถเก็บข้อมูลที่ได้ในการทดลอง เพื่อถ่ายโอน แสดงผลบนจอและนำไปจัดทำรายงานต่อไปได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Project Title	Groundwater Discharge and Recharge Simulator
Name of the Investigator	Assoc. Prof. Dr.SUCHARIT KOONTANAKULVONG
	Assoc. Prof. KRISADA VISAVATEERANON
Year	June 2002

Abstract

The experimental device was designed and developed to conduct the groundwater flow in porous media under pressure with the directions of pumping and recharging. The device can be tested under the water pressure head of 0-20 meters and the discharge rate of 0-3.6 litres per second or equivalent to Reynolds number of 0-170. The device is comprised of three main parts, i.e., (1) well-aquifer model which is a steel structure in radial shape with 2 meters in radius, 0.2 meter in thickness, 30 degrees at the center and the well of 0.2 meter in radius, 0.4 meter high at the center , (2) a circulation water system comprising of water storage tank 0.5X1.0X0.8 meter), centrifugal pump(4 Hp), pipe and control valves, water distribution box and flow measuring weir (3) data control system comprising of motor inverter, data logger, pressure sensor, data logging software in PC

The experiments show that the developed device can simulate porous media flow with pressure and can measure flow rate, pressure distribution at various locations under pure water and porous media conditions. The control system can save experimental data, present the results on screen and transfer files for report production.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

คำนำ.....i
กิตติกรรมประกาศ.....ii
บทคัดย่อภาษาไทย.....iii
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....iv
สารบัญ.....v
สารบัญตาราง.....vii
สารบัญรูป.....viii

1. บทนำ
1.1 ความเป็นมา.....๑
1.2 วัตถุประสงค์.....๒
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....๒
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....๓
1.5 การศึกษาที่ผ่านมา.....๔
1.6 เนื้อหารายงาน.....๕

2. ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ
2.1 การเติมน้ำและสูบน้ำใต้ดิน.....๗
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างฟริคชันแฟคเตอร์ (f) กับ ค่าเรย์โนลย์นัมเบอร์ (Re) ๘
2.3 การปรับความเร็วรอบของเครื่องสูบน้ำ.....๙
2.4 ฝายวัดอัตราการไหล.....๑๑

3. การออกแบบเครื่องมือ
3.1 แนวคิดในการออกแบบ.....๑๒
3.2 ตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบ.....๑๒
3.3 ขอบเขตของการออกแบบ.....๑๓
3.4 ผลการออกแบบ.....๑๖
3.5 รายการอุปกรณ์หลักที่ใช้.....๒๐

สารบัญ (ต่อ)

4. ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดสอบเครื่องมือ.....๒๑

4.2 ผลการใช้งาน.....๒๒

4.3 ผลการทดลอง.....๒๓

4.4 การแสดงผลการทดลอง.....๓๐

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 ข้อสรุป.....๓๔

5.2 ข้อเสนอแนะ.....๓๕

รายการอ้างอิง.....๓๖

ภาคผนวก ก รายละเอียดทีมงานประดิษฐ์.....๓๘

ภาคผนวก ข รายละเอียดการศึกษาและผลงานที่เกี่ยวข้องในอดีต.....๓๙

ภาคผนวก ค รายการคำนวณการออกแบบแบบจำลองการไหลในแนวรัศมี.....๔๗

ภาคผนวก ง รายการคำนวณการออกแบบเครื่องสูบน้ำและรายละเอียดของเครื่องสูบน้ำ.....๕๑

ภาคผนวก จ รายละเอียดของฝายวัดอัตราการไหล.....๕๔

ภาคผนวก ฉ รายละเอียดของตัวปรับความเร็วรอบมอเตอร์.....๕๖

ภาคผนวก ช รายละเอียดของเครื่อง data logger.....๕๘

ภาคผนวก ซ รายละเอียดของเซนเซอร์วัดความดัน.....๗๓

ภาคผนวก ฌ ผลการสอบเทียบอุปกรณ์.....๗๙

ภาคผนวก ญ รูปถ่ายเครื่องมือระหว่างการประดิษฐ์.....๘๓

ภาคผนวก ฎ คู่มือการใช้งาน.....๘๗

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
ตารางที่ 4-1	ผลการทดลองของ LAB 1	๒๔
ตารางที่ 4-2	ผลการทดลองของ LAB 2	๒๔
ตารางที่ 4-3	ผลการทดลองของ LAB 3	๒๕
ตารางที่ 4-4	เปรียบเทียบเฮดตามแนวการไหล ทั้งกรณีสูบน้ำและเติมน้ำของ LAB 2 และ LAB 3	๒๗

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปประกอบ		หน้า
รูปที่ 2-1	กรวยความดันเพิ่ม (cone of recharge) และกรวยความดันลด(cone of depression)	๘
รูปที่ 2-2	เส้นโค้งสมรรถภาพของเครื่องสูบน้ำ	๙
รูปที่ 2-3	เส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างเฮดของน้ำกับอัตราการสูบ เมื่อมีการเปลี่ยนความเร็วรอบ	๑๐
รูปที่ 3-1	การเชื่อมโยงระหว่างระบบต่างๆ ของเครื่องมือ กรณีทดลองการเติมน้ำใต้ดิน	๑๕
รูปที่ 3-2	ลักษณะของแบบจำลองบ่อบาดาล-ชั้นน้ำ	๑๖
รูปที่ 3-3	ระบบการหมุนเวียนน้ำ	๑๘
รูปที่ 4-1	แผนผังควบคุมการทดลอง	๒๖
รูปที่ 4-2	piezometric head curve	๒๘
รูปที่ 4-3	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง H/Hp และ L/Lmax	๒๘
รูปที่ 4-4	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง f กับ Re กรณีเติมน้ำ	๒๙
รูปที่ 4-5	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง f กับ Re กรณีสูบน้ำ	๒๙
รูปที่ 4-6	หน้าจอ LCD ของ data logger ใน MODE 1 ขณะทำการทดลอง	๓๐
รูปที่ 4-7	หน้าจอ LCD ของ data logger ใน MODE 2 ขณะทำการทดลอง	๓๑
รูปที่ 4-8	หน้าจอในรูปแบบการแสดงผลแบบทันทีทันใด	๓๒
รูปที่ 4-9	หน้าจอในรูปแบบการดูผลการทดลองย้อนหลัง	๓๓

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา

จากการที่มีการสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้มากเกินกว่าสมดุลของธรรมชาติ โดยเฉพาะการสูบน้ำจากชั้นน้ำภายใต้แรงดัน (confined aquifer) ทำให้เกิดปัญหาต่างๆตามมา เช่น การเกิดแผ่นดินทรุด การแทรกซึมของน้ำเค็มทำให้คุณภาพของน้ำบาดาลแย่ลงเป็นต้น เพื่อที่จะบรรเทาปัญหาดังกล่าวจึงต้องลดปริมาณการสูบน้ำบาดาล หรือต้องเพิ่มปริมาณน้ำบาดาลโดยเติมน้ำลงไปในชั้นน้ำบาดาล (artificial recharge) ซึ่งเป็นวิธีการที่ช่วยเร่งกระบวนการตามธรรมชาติในการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำ (aquifer) ซึ่งมีแนวโน้มที่จะดำเนินการในอนาคตอันใกล้ อย่างไรก็ตามการศึกษาพื้นฐานเกี่ยวกับการไหลของน้ำใต้ดินในระหว่างการสูบน้ำใต้ดินและการเติมน้ำใต้ดินในชั้นน้ำภายใต้แรงดัน ยังไม่มีการดำเนินการอย่างจริงจังในประเทศไทย และการศึกษาด้านการดำเนินการ (operation) เกี่ยวกับการสูบน้ำใต้ดินและการเติมน้ำใต้ดินก็ยังไม่มีการทำศึกษาวิจัย ตลอดจนเผยแพร่ให้ผู้ใช้หรือผู้ที่เกี่ยวข้องได้เข้าใจในเรื่องดังกล่าวอย่างถูกต้อง คณะผู้วิจัยเห็นว่าจำเป็นจะต้องทำการสร้างเครื่องมือ เพื่อทำการศึกษาวิจัยให้เข้าใจปรากฏการณ์และพฤติกรรมของการไหลของน้ำใต้ดินให้ถูกต้อง และองค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อการสูบและอัดเติมน้ำบาดาล นอกจากนี้ยังควรศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างการสูบน้ำและการอัดเติมน้ำให้เกิดความเข้าใจทางวิศวกรรมมากขึ้น ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการออกแบบและดำเนินการเกี่ยวกับการสูบน้ำและการอัดเติมน้ำบาดาลในอนาคต

เครื่องมือที่ประดิษฐ์ขึ้นนี้เป็นการออกแบบเครื่องมือใหม่ ซึ่งต้องผสมผสานความรู้ทางวิศวกรรมหลายสาขา ทั้งทางด้านแหล่งน้ำ โยธา ไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ และสามารถนำไปใช้ในการประกอบการเรียนการสอน การศึกษาวิจัยชั้นสูง และใช้เผยแพร่ความรู้ทางวิชาการให้ผู้ที่เกี่ยวข้องหรือผู้ที่สนใจทั่วไปได้อีกด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.2 วัตถุประสงค์

โครงการสิ่งประดิษฐ์ "เครื่องจำลองการสูบและการอัดเติมน้ำใต้ดิน" กำหนดวัตถุประสงค์ไว้ดังนี้

1. ทำการออกแบบเครื่องมือเพื่อทดสอบเกี่ยวกับการเติมน้ำและสูบน้ำจากชั้นน้ำภายใต้แรงดัน ซึ่งใช้ความรู้ทางวิศวกรรมแหล่งน้ำในการออกแบบระบบชลศาสตร์ของเครื่องมือ ใช้ความรู้ทางวิศวกรรมโยธาในการออกแบบโครงสร้างเครื่องมือ ใช้ความรู้ทางวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ในการออกแบบระบบวัดและเก็บบันทึกข้อมูล

2. ประกอบชิ้นส่วนต่างๆที่ได้ออกแบบไว้ จัดทำเป็นเครื่องมือและทำการทดสอบเครื่องมือ ให้ใช้งานได้ตามแบบที่วางไว้

3. จัดทำคู่มือการใช้งานของเครื่องมือดังกล่าว

4. ส่งมอบเครื่องมือที่จัดสร้างเรียบร้อยแล้วส่งมอบให้แก่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ในการเรียนการสอนและการวิจัย

1.3 ขอบเขตของโครงการ

ในการดำเนินโครงการสิ่งประดิษฐ์เริ่มตั้งแต่การศึกษาเครื่องมือทดลองที่มีลักษณะคล้ายกันที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน ทำการออกแบบ จัดซื้อวัสดุ ประกอบเครื่องมือและทดสอบเครื่องมือเพื่อยืนยันว่าเครื่องมือสามารถนำไปใช้งานได้จริง และสุดท้ายคือการจัดทำคู่มือการใช้งาน โดยสถานที่ในการดำเนินงานคือ ห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เครื่องมือที่ประดิษฐ์ขึ้นนี้ เป็นการจำลองการไหลในแนวรัศมี (radial flow) เพื่อให้ใกล้เคียงกับสภาพการไหลของบ่อน้ำบาดาล โดยกำหนดความดันไว้ในช่วง 0 ถึง 20 เมตรน้ำ และอัตราการไหลเท่ากับ 0 ถึง 3.6 ลิตรต่อวินาที ซึ่งทำให้เกิดสภาพการไหลตามค่า เรย์โนลนัมเบอร์ เท่ากับ 0 ถึง 170 ที่บริเวณผิวบ่อบาดาล

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

การดำเนินการประดิษฐ์รแบ่งเป็นขั้นตอนต่างๆ โดยการประดิษฐ์เริ่มตั้งแต่การศึกษาผลงานที่เกี่ยวข้องในอดีต จนถึงการส่งมอบเครื่องมือให้ทางมหาวิทยาลัย แบ่งเป็น 9 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 : การศึกษาผลงานที่เกี่ยวข้องในอดีต ทำการศึกษาผลงานที่เกี่ยวกับการ ออกแบบเครื่องมือและการทดลองเกี่ยวกับการสูบน้ำและอัดเติมน้ำบาดาลในห้องปฏิบัติการ ทั้งในประเทศและต่างประเทศ

ขั้นตอนที่ 2 : การวางแนวคิดในการออกแบบ ต้องประดิษฐ์สร้างเครื่องมือที่สามารถทำการทดสอบได้ทั้งการเติมน้ำและการสูบน้ำผ่านบ่อน้ำบาดาลจากชั้นน้ำภายใต้แรงดัน โดยพยายามจำลองสภาพการไหลที่เกิดขึ้นในการทดลองให้ เหมือนกับสภาพที่เกิดขึ้นจริงในภาคสนามให้มากที่สุด ส่วนการวัดและบันทึกข้อมูลทำเป็นระบบอัตโนมัติ เพื่อความสะดวกในการทดลองและนำผลการทดลองไปใช้

ขั้นตอนที่ 3 : การออกแบบ การออกแบบเครื่องมือได้อาศัยทฤษฎีต่างๆ ได้แก่ ความคล้ายคลึงทางชลศาสตร์ การไหลของน้ำใต้ดิน การปรับความเร็วรอบเครื่องสูบน้ำ ระบบวัดและบันทึกข้อมูลและเครื่องมือวัด ซึ่งหลักการของทฤษฎีจะกล่าวถึงในบทที่ 2

ขั้นตอนที่ 4 : การจัดซื้อวัสดุและอุปกรณ์ ซึ่งจะดำเนินการหลังจากการทำรายการสรุปวัสดุและอุปกรณ์ที่ต้องจัดซื้อทั้งจากในประเทศและจากต่างประเทศ เนื่องจากอุปกรณ์บางอย่างเป็นอุปกรณ์เฉพาะ

ขั้นตอนที่ 5 : การจัดทำและประกอบเครื่องมือ ทำการสร้างโครงสร้างเครื่องมือและประกอบเครื่องมือจากวัสดุและอุปกรณ์ที่ซื้อมา

ขั้นตอนที่ 6 : การทดสอบเครื่องมือ เมื่อทำการประดิษฐ์เครื่องมือเสร็จแล้ว ทดสอบเครื่องมือว่ามีความผิดพลาดในการประกอบหรือไม่ เช่น ตรวจดูว่ามีการรั่วซึมของน้ำในเครื่องมือมากเกินไปหรือไม่ นอกจากนี้พวกเครื่องมือวัดต่างๆจะต้องทำการสอบเทียบ (calibrate) ด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนที่ 7 : การปรับแต่งเครื่องมือ ทำการปรับแต่งเครื่องมือให้มีความพร้อมที่จะนำไปใช้งาน และทำการทดลองใช้เครื่องมือที่ประดิษฐ์ขึ้นกับกรณีตัวอย่าง (กรณีน้ำเปล่า กรณีทรายแบบสูบน้ำและอัดน้ำ)

ขั้นตอนที่ 8 : การเขียนคู่มือการใช้งานเครื่องมือ ทำการจัดทำคู่มือการใช้งานเครื่องมือ ตลอดจนเสนอวิธีการในการดูแล รักษาเครื่องมือให้มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน

ขั้นตอนที่ 9 : การส่งมอบเครื่องมือพร้อมคู่มือ ดำเนินการส่งมอบเครื่องมือให้กับมหาวิทยาลัย พร้อมกับคู่มือประกอบการใช้เครื่องมือ

1.5 การศึกษาที่ผ่านมา

สิ่งประดิษฐ์ที่จัดทำขึ้นในครั้งเป็นเครื่องมือสำหรับการทดลองการเติมน้ำและสูบน้ำใต้ดิน ในชั้นน้ำภายใต้แรงดัน (confined aquifer) ซึ่งในประเทศไทยยังไม่มีเครื่องมือเพื่อทำการทดลองในลักษณะนี้มาก่อน ที่ผ่านมามีเพียงเครื่องมือที่ทำการทดลองกับชั้นน้ำเปิด (unconfined aquifer) ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชียเท่านั้น โดยสามารถสรุปโดยสังเขปได้ดังนี้

- จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (1997) โดยภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ได้จัดสร้างเครื่องมือเพื่อจำลองสภาพของชั้นน้ำเปิด (unconfined aquifer) และทำการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเติมน้ำใต้ดินโดยแรงโน้มถ่วงของโลกกับการกระจายตัวของขนาดทราย โดยทดลองทั้งกรณีใช้สระเติมน้ำทดลองและบ่อน้ำบาดาล

- สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (1991) ได้สร้างเครื่องมือเพื่อศึกษาผลของชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ(unsaturated zone) ต่อการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำแบบเปิด (unconfined aquifer) โดยการไหลในแบบจำลองเป็นการไหลในมิติเดียว (one –dimensional flow)

จะเห็นได้ว่าเครื่องมือทั้งสองที่อ้างถึงเป็นเครื่องมือสำหรับทดลองกับชั้นน้ำแบบเปิด โดยที่เครื่องมือของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยสามารถทดลองได้ทั้งการสูบน้ำและการเติมน้ำ ทั้งแบบใช้บ่อน้ำบาดาลและสระเติมน้ำ ขณะที่เครื่องมือของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย สนใจเฉพาะผลของชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำต่ออัตราการเติมน้ำหรือการซึมของน้ำ ซึ่งไม่ใช่การศึกษาเรื่องการเติมน้ำใต้ดินโดยตรง และเครื่อง

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มือทั้งสองต้องควบคุมการทำงานและเก็บบันทึกข้อมูลระดับความดันน้ำและอัตราการไหลด้วยมือ (manual)

เนื่องจากเครื่องมือที่ทำการประดิษฐ์ในครั้งนี้เป็นการทดลองการสูบและเติมน้ำผ่านบ่อน้ำบาดาล เมื่อผนวกเข้ากับเครื่องมือสำหรับทดลองกับชั้นน้ำแบบเปิดจะทำให้จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีเครื่องมือที่ใช้สำหรับการเติมน้ำและสูบน้ำที่ครบถ้วนที่สุดในประเทศ

นอกจากเครื่องมือที่สร้างขึ้นในประเทศที่กล่าวถึงข้างต้น ในต่างประเทศก็มีการสร้างเครื่องมือเพื่อทดลองการสูบน้ำบาดาล เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบบ่อน้ำบาดาล รวมทั้งยังมีการศึกษาถึงเฮดสูญเสียในบริเวณใกล้ๆบ่อบาดาลเมื่อทำการสูบน้ำและเติมน้ำผ่านบ่อน้ำบาดาล โดยรายละเอียดการศึกษาและผลงานที่เกี่ยวข้องในอดีตทั้งในต่างประเทศและในประเทศที่กล่าวถึงข้างต้น ดูได้เพิ่มเติมในภาคผนวก ข

เมื่อเปรียบเทียบเครื่องมือที่ประดิษฐ์นี้กับเครื่องมือที่มีในต่างประเทศจะเห็นว่าเครื่องมือที่ประดิษฐ์มีขนาดใหญ่กว่า จึงศึกษาการไหลบริเวณที่ไกลจากบ่อน้ำบาดาลได้มากกว่าและทดสอบกับแรงดันที่สูงกว่า ซึ่งจะเหมือนกับสภาพจริงในการทำงานมากกว่า

1.6 เนื้อหารายงาน

รายงานฉบับนี้เป็นรายงานฉบับสมบูรณ์ของโครงการสิ่งประดิษฐ์ "เครื่องจำลองการสูบและการเติมน้ำใต้ดิน" เนื้อหาของรายงานครอบคลุมส่วนต่างๆ พอสรุปได้ดังนี้

ในบทนำได้สรุปความเป็นมาของโครงการประดิษฐ์ วัตถุประสงค์ ขอบเขตการประดิษฐ์ และขั้นตอนการดำเนินการ และการศึกษาที่ผ่านมา ในบทที่สอง ได้สรุปทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบทั้งทางด้านเครื่องสูบน้ำ บ่อน้ำบาดาล แบบจำลองชั้นน้ำ อุปกรณ์วัดอัตราการไหล บทที่สาม ได้กล่าวถึง แนวคิดในการออกแบบ ตัวแปรที่ใช้ ขอบเขตที่ทำการออกแบบ และผลการออกแบบที่ได้ บทที่สี่เป็นการแสดงผลการทดสอบเครื่องมือ การสอบเทียบอุปกรณ์ ลักษณะการใช้งานและการทดลอง บทที่ห้าจะเป็นบทสรุปและเสนอแนะผลการประดิษฐ์ครั้งนี้ นอกจากนี้ในภาคผนวกยังได้เสนอรายละเอียดทีมงานประดิษฐ์ รายละเอียดการศึกษาผลงานที่เกี่ยวข้องในอดีต การออกแบบแบบจำลอง การออกแบบเครื่องสูบน้ำ รายละเอียดเครื่อง data logger รายละเอียดของเซนเซอร์วัดความดัน ผลการสอบเทียบอุปกรณ์ ภาพ

ถ่ายระหว่างการประดิษฐ์เครื่องมือ และคู่มือการใช้งานเครื่องมือที่ประดิษฐ์ขึ้นเพื่อประกอบการใช้งานในอนาคต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ

2.1 การเติมน้ำและสูบน้ำใต้ดิน

เมื่อทำการสูบน้ำและเติมน้ำผ่านบ่อน้ำบาดาล โดยที่การไหลที่เกิดขึ้นสอดคล้องกับกฎของดาร์ซีหรือสมการการไหลของดาร์ซี จะเกิดกรวยความดันลด (Cone of Depression) และกรวยความดันเพิ่ม (Cone of Recharge) ที่มีลักษณะเหมือนกัน เมื่อถึงสภาวะคงตัว (Steady State) ดังแสดงในรูปที่ 2-1 และใช้ Thiem's Equation ในการอธิบาย ดังนี้

การสูบน้ำ
$$Q_d = \frac{2\pi Kb(h_0 - h_w)}{\ln(r_0 / r_w)} \qquad \text{--- 2.1}$$

การเติมน้ำ
$$Q_r = \frac{2\pi Kb(h_w - h_0)}{\ln(r_0 / r_w)} \qquad \text{--- 2.2}$$

เมื่อ Q_d คือ อัตราการสูบน้ำ (ลบ.ม./วินาที)

Q_r คือ อัตราการเติมน้ำ (ลบ.ม./วินาที)

K คือ ค่าความนำชลศาสตร์ (เมตร/วินาที)

r_0 คือ รัศมีที่ได้รับอิทธิพลจากการสูบน้ำและการเติมน้ำหรือรัศมีของกรวยความดันลดและกรวยความดันเพิ่ม (เมตร)

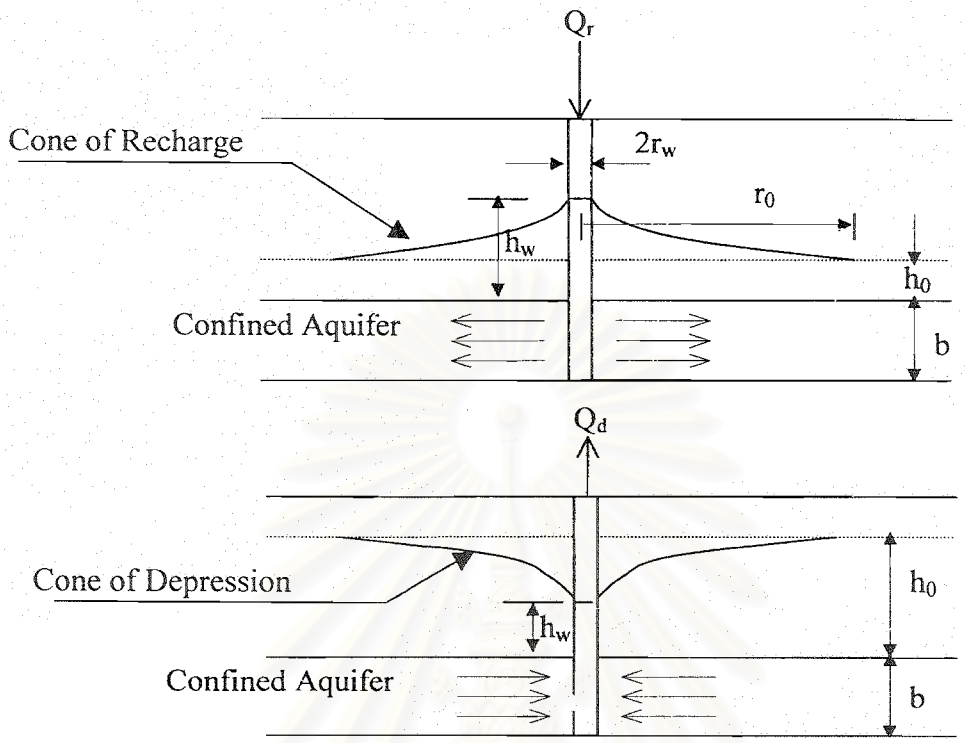
r_w คือ รัศมีของบ่อน้ำบาดาล (เมตร)

h_0 คือ ระดับความดันน้ำเดิมในชั้นน้ำ (เมตร)

h_w คือ ระดับความดันน้ำในบ่อน้ำบาดาล (เมตร)

b คือ ความหนาของชั้นน้ำ (เมตร)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2-1 กรวยความดันเพิ่ม (Cone of Recharge) และกรวยความดันลด (Cone of Depression)

2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (f) กับ ค่าเรย์โนลย์นัมเบอร์ (R_e)

โดยทั่วไปการไหลของน้ำใต้ดินจะอธิบายด้วยความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการไหลกับความชันชลศาสตร์ แต่จะไม่สะดวกในการนำไปใช้ จึงได้มีผู้ทำการศึกษาเพื่อหาตัวแปรไร้หน่วยที่สามารถอธิบายถึงความสัมพันธ์ดังกล่าว โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน(f) และค่าเรย์โนลย์นัมเบอร์(R_e) ที่เป็นตัวแปรไร้หน่วยมาอธิบายในลักษณะเดียวกับ Moody Diagram ของการไหลในท่อ ซึ่งโดยทั่วไปจะมี 2 รูปแบบ ดังนี้

ผู้ทำการศึกษา	Characteristic Length(d)	Friction Fractor (f)	Raynolds Number (R_e)
1. Todd	d_{10}	$f = \frac{dP}{dL}(\frac{d_{10}}{2\rho v^2})$ --- 2.3	$R_e = \frac{\rho v d_{10}}{\mu}$ --- 2.4
2. Ward, Dinoy, Das Gupta	$k^{1/2}$	$f_k = \frac{dP}{dL}\frac{k^{1/2}}{\rho v^2}$ --- 2.5	$R_k = \frac{\rho v k^{1/2}}{\mu}$ --- 2.6

เมื่อ d_{10} คือ ขนาดเม็ดดิน ที่มีขนาดเล็กกว่านี้ 10 เปอร์เซ็นต์ หรือ " Effective Grain Size"

μ คือ ความหนืดพลวัตร(Dynamic Viscosity)ของน้ำที่ไหลผ่านตัวกลางชั้นน้ำ

ρ คือ ความหนาแน่นของของเหลวที่ไหลผ่านตัวกลางชั้นน้ำ

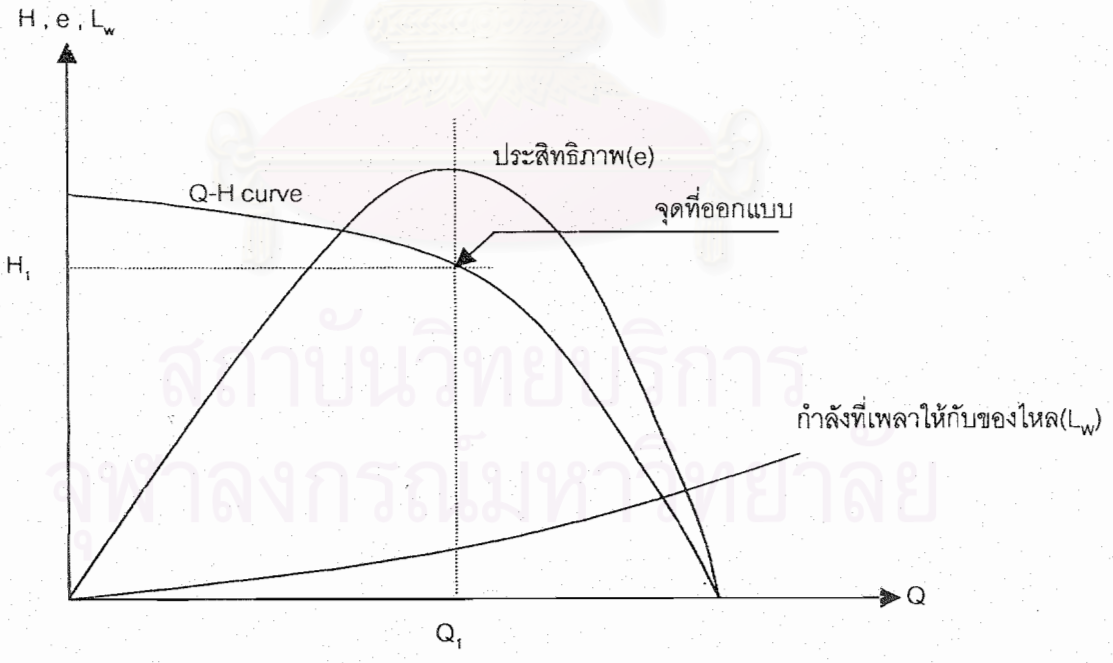
v คือ ความเร็วในการไหลผ่านตัวกลางชั้นน้ำ

k คือ Intrinsic Permeability

P คือ ความดัน มีค่าเท่ากับ ρgH และ H คือ เฮดความดัน

2.3 การปรับความเร็วรอบของเครื่องสูบน้ำ

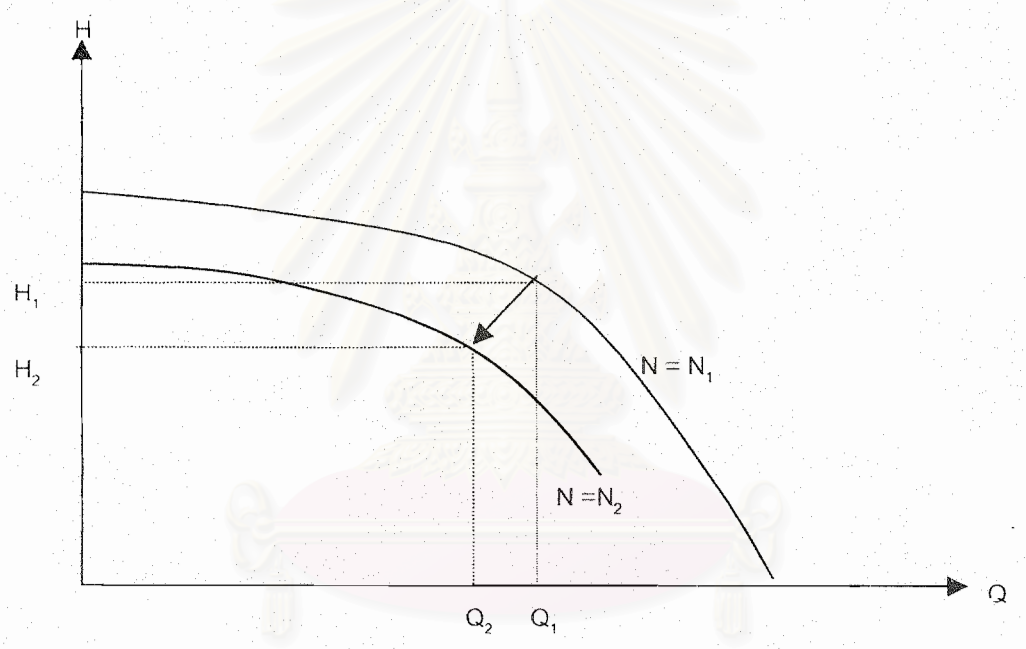
เนื่องจากเครื่องสูบน้ำที่ผลิตจากโรงงานจะออกแบบมาที่ความเร็วรอบออกแบบและจะมีเส้นโค้งสมรรถภาพของเครื่องสูบน้ำ (characteristic curve) ที่ความเร็วรอบดังกล่าวมาให้ ลักษณะของโค้งสมรรถภาพของเครื่องสูบน้ำแสดงได้ดังรูปที่ 2-2 ประกอบด้วยตัวแปรอิสระคือ ค่าอัตราการสูบ (Q) ตัวแปรตามได้แก่ หัวความดันหรือเฮดของน้ำ (H) ประสิทธิภาพ (e) และกำลังที่เพลาให้กับของไหล (L_w) ณ จุดออกแบบจะเป็นจุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุด



รูปที่ 2-2 เส้นโค้งสมรรถภาพของเครื่องสูบน้ำ

แต่ถ้าความเร็วรอบในการใช้งานเปลี่ยนแปลงไป จะมีผลทำให้เส้นโค้งสมรรถภาพของเครื่องสูบน้ำเปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังนี้

สมมุติว่าเครื่องสูบน้ำได้รับการออกแบบมาที่ความเร็วรอบ N_1 และจากโค้งสมรรถภาพของเครื่องสูบน้ำจะเห็นได้ว่า ถ้าต้องการเฮดของน้ำเท่ากับ H_1 จะได้อัตราการสูบเท่ากับ Q_1 หรือในทางกลับกันถ้าต้องการอัตราการสูบเท่ากับ Q_1 จะได้เฮดของน้ำเท่ากับ H_1 ดังรูปที่ 2-1 แต่พอตอนนำเครื่องสูบน้ำไปใช้งาน ปรากฏว่าเครื่องสูบน้ำไม่สามารถทำงานที่ความเร็วรอบออกแบบได้ แต่ความเร็วรอบกลับลดลงเหลือ N_2 จะทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างเฮดของน้ำกับอัตราการสูบเปลี่ยนไปเป็นเส้น $N = N_2$ ในรูปที่ 2-3



รูปที่ 2-3 เส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างเฮดของน้ำกับอัตราการสูบ เมื่อมีการเปลี่ยนความเร็วรอบ

เฮดและอัตราการไหลที่เปลี่ยนไปสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ N_1 กับ N_2 โดยถือว่าประสิทธิภาพของเครื่องสูบเหมือนเดิม ดังนี้

$$Q_2 = (N_2 / N_1) Q_1 \qquad \text{--- 2.7}$$

$$H_2 = (N_2 / N_1)^2 \; H_1 \qquad \text{--- 2.8}$$

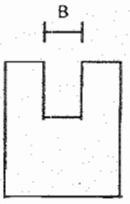
2.4 ฝายวัดอัตราการไหล

เมื่อของเหลวไหลผ่านฝาย (weir) และไหลลงสู่เบื้องล่างแบบอิสระ (free flow) เราสามารถหาอัตราการไหลได้จากระดับน้ำเหนือสันฝาย (crest) โดยฝายแต่ละตัวจะมีสมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) และระดับน้ำเหนือสันฝาย(H)

ถ้าการไหลผ่านฝายไม่เป็นแบบอิสระ นั่นคือน้ำไหลลงไปตามผิวของฝายจะเกิดแรงต้านขึ้นทำให้ค่าอัตราการไหลที่หาได้ไม่น่าเชื่อถือ เนื่องจากค่าอัตราการไหลไม่ขึ้นอยู่กับระดับน้ำเหนือสันฝายเพียงอย่างเดียว แต่จะขึ้นอยู่กับแรงต้านทานนี้ด้วย การหาระดับน้ำเหนือสันฝายจะต้องทำการวัดที่จุดซึ่งห่างจากช่วงผิวโค้งของผิวน้ำ (drawdown) หน้าฝาย

ฝายวัดอัตราการไหลที่นิยมใช้เป็นฝายสันคม (Sharp-Crested Weir) โดยที่ฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยม (Rectangular notch weir) มีสมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและระดับน้ำเหนือสันฝายดังนี้

$$Q = C_d \frac{2}{3} B\sqrt{2g}H^{\frac{3}{2}} \qquad \text{--- 2.9}$$



เมื่อ C_d คือ สัมประสิทธิ์อัตราการไหล(-)

B คือ ความกว้างของสันฝาย(เมตร)

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก(เมตร/วินาที^{2})

H คือ ระดับน้ำเหนือสันฝาย(เมตร)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
การออกแบบเครื่องมือ

คณะผู้วิจัยได้ทำการค้นคว้ารายงานการศึกษาในอดีตที่เกี่ยวข้องกับการทดลองการสูบน้ำและการเติมน้ำใต้ดิน และพิจารณาข้อดีข้อเสียตลอดจนรูปแบบเครื่องมือ คณะผู้วิจัยได้ประชุมและตกลงกันถึงรูปแบบและขอบเขตการใช้งานของเครื่องมือที่จะทำการประดิษฐ์ ซึ่งมีแนวคิดหลักๆในการประดิษฐ์ดังนี้

3.1 แนวคิดในการออกแบบ

แนวคิดที่ใช้ในการออกแบบ มีดังนี้

1. เครื่องมือที่ออกแบบต้องสามารถทำการทดสอบได้ทั้งการเติมน้ำและการสูบน้ำผ่านบ่อบาดาลจากชั้นน้ำภายใต้แรงดัน โดยพยายามจำลองสภาพการไหลที่จะเกิดขึ้นในการทดลองให้ใกล้เคียงกับสภาพที่เกิดขึ้นจริงในภาคสนามให้มากที่สุด

2. การควบคุมการทดลอง การวัดและการบันทึกผลการทดลองต้องทำได้โดยสะดวกหรือเป็นแบบอัตโนมัติ โดยใช้คอมพิวเตอร์เป็นอุปกรณ์หลักในการเก็บข้อมูลและแสดงผลการทดลอง

3. เครื่องมือที่ออกแบบต้องสามารถดัดแปลง เพื่อใช้ทดสอบในเรื่องอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับการไหลของน้ำใต้ดินในชั้นน้ำภายใต้แรงดันได้

3.2 ตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบ

ในการศึกษาเรื่องการไหลของน้ำใต้ดินเมื่อทำการสูบน้ำและเติมน้ำผ่านบ่อบาดาลในชั้นน้ำภายใต้แรงดัน จะมีตัวแปรหลักที่ต้องพิจารณา 2 ตัวแปร ได้แก่

1. ระดับความดันหรือเฮด (pressure head) หมายถึง ระดับความดันของน้ำในชั้นน้ำ (piezometric head) ณ จุดต่างๆ และที่ปลายน้ำ และความดันของน้ำในบ่อน้ำบาดาล

2. อัตราการไหล (discharge) หมายถึง อัตราที่น้ำใต้ดินเคลื่อนที่ในชั้นน้ำ ซึ่งเท่ากับอัตราการสูบหรือเติมน้ำผ่านบ่อน้ำบาดาล อัตราการไหลจะมีความสัมพันธ์กับค่าเรย์โนลย์นัมเบอร์ (R_e) ที่เป็นตัวแปรสำคัญในการออกแบบแบบจำลอง เพราะว่าแบบจำลองต้องถูกออกแบบให้การไหลที่เกิดขึ้นในแบบจำลองมีลักษณะเดียวกับที่เกิดขึ้นจริงในภาคสนาม นั่นคือต้องมีค่าเรย์โนลย์นัมเบอร์ที่เท่ากัน

3.3 ขอบเขตของการออกแบบ

การออกแบบเครื่องมือครั้งนี้ออกแบบให้สามารถทำการทดลองได้ในขอบเขตของระดับความดันและเรย์โนลย์นัมเบอร์ที่ใกล้เคียงกับภาคสนามให้มากที่สุด ดังเช่นในการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาลในภาคสนามที่ผ่านมา ใช้แรงดันในการเติมน้ำประมาณ 20 ถึง 50 เมตรของน้ำ (ที่บ่อน้ำบาดาล) และเรย์โนลนัมเบอร์ที่เกิดขึ้นที่ผิวท่อกรองของบ่อบาดาล (เป็นค่าที่มากที่สุด) มีค่าประมาณ 170 แต่เนื่องจากข้อจำกัดด้านวัสดุและสถานที่ในการประกอบเครื่องมือ ในการออกแบบเครื่องมือนี้ได้ออกแบบเพื่อให้สามารถทำการทดลองได้ในช่วงระดับความดัน (H) ตั้งแต่ 0 ถึง 20 เมตรของน้ำ (ที่ตำแหน่งบ่อบาดาล) และออกแบบฝายวัดอัตราการไหลให้วัดอัตราการไหลสูงสุดเท่ากับ 3.6 ลิตรต่อวินาที ซึ่งที่อัตราการไหลดังกล่าวจะให้ค่าเรย์โนลย์นัมเบอร์ประมาณ 170

สรุปขอบเขตของการใช้งานของเครื่องมือที่ประดิษฐ์มีค่าเท่ากับ

1. H = 0 - 20 เมตรของน้ำ
2. Q = 0 – 3.6 ลิตรต่อวินาที
3. R_e = 0 - 170

เครื่องมือที่ประดิษฐ์ได้แบ่งเป็น 3 ส่วนหลักๆ ได้แก่

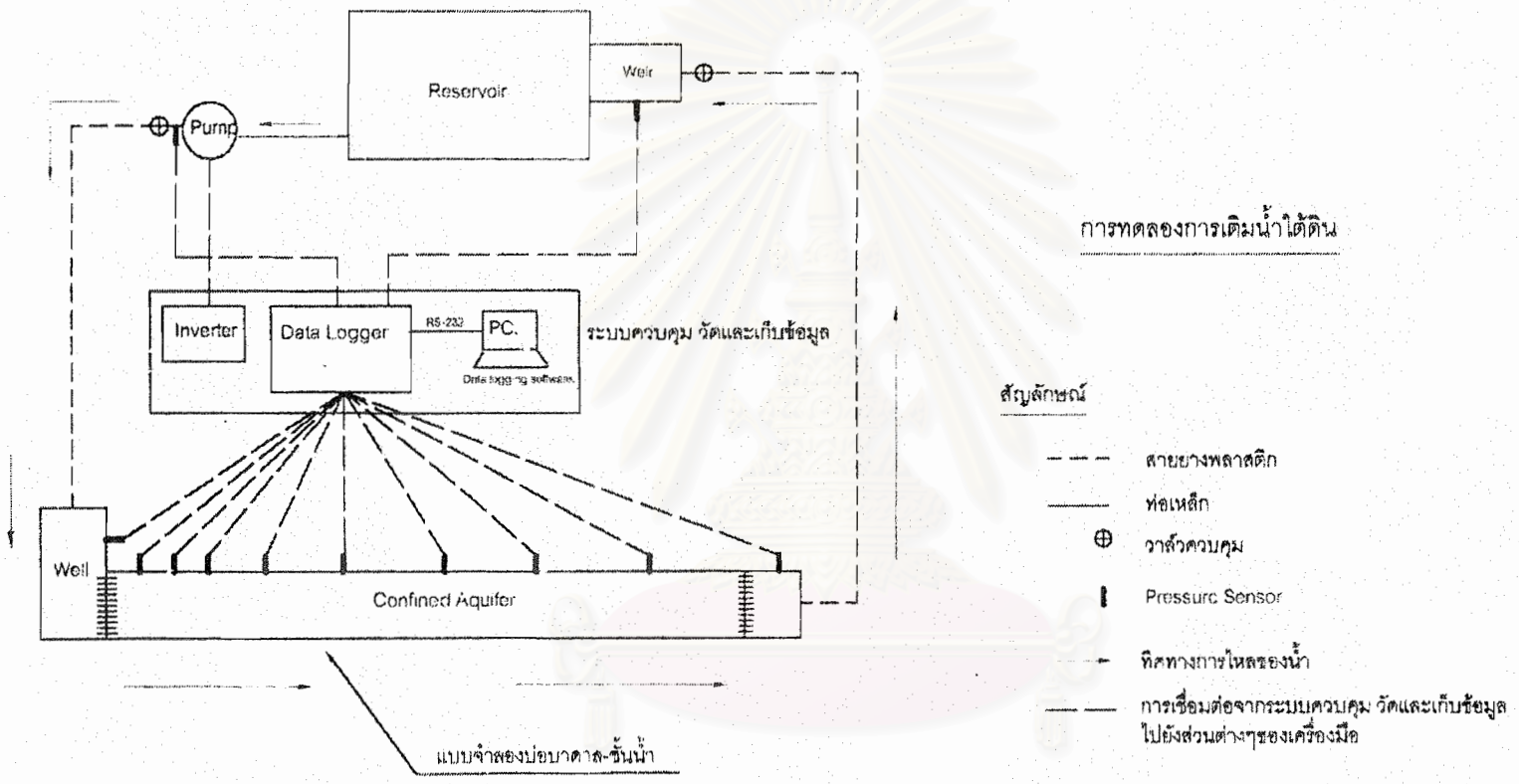
1. แบบจำลองชั้นน้ำ-บ่อบาดาล เป็นการจำลองลักษณะของบ่อบาดาลและชั้นน้ำ โดยใช้ทรายขนาดต่างๆแทนวัสดุชั้นน้ำ ซึ่งชั้นน้ำที่จำลองขึ้นเป็นชั้นน้ำภายใต้แรงดัน (confined aquifer) ในการออกแบบจะต้องจำลองสภาพการไหลที่จะเกิดขึ้นในแบบจำลองให้เหมือนกับสภาพที่เกิดขึ้นจริงในภาคสนามให้มากที่สุด ซึ่งการไหลที่เกิดขึ้นจริงในชั้นน้ำเมื่อทำการสูบน้ำและเติมน้ำจากบ่อบาดาล จะเป็นการไหลในแนวรัศมี (radial flow) แบบจำลองชั้นน้ำที่จะจำลองขึ้นจึงมีลักษณะเป็นส่วนหนึ่งของวงกลม (sector) เรียกว่า "แบบจำลองการไหลในแนวรัศมี" (รายการคำนวณการออกแบบแบบจำลองบ่อบาดาล-ชั้นน้ำ ดูได้ในภาคผนวก ค)

2. ระบบหมุนเวียนน้ำและฝายวัดอัตราการไหล ระบบหมุนเวียนน้ำอาศัยแรงขับจากเครื่องสูบน้ำ (รายการคำนวณการออกแบบเครื่องสูบน้ำ แสดงในภาคผนวก ง) โดยต้องควบคุมปริมาณน้ำและทิศทางการไหลของน้ำได้ เพราะมีการทดลอง 2 ลักษณะ คือ การเติมน้ำ ซึ่งน้ำจะไหลออกจากบ่อบาดาล ขณะที่การสูบน้ำ น้ำจะไหลจากชั้นน้ำเข้าสู่บ่อบาดาล โดยที่อัตราการไหลในการทดลองจะวัดโดยฝายวัดอัตราการไหล (weir) เนื่องจากสามารถปรับเปลี่ยนขนาดได้ ทำให้สามารถวัดอัตราการไหลได้ในช่วงที่ต้องการ โดยมีความละเอียดในระดับที่เชื่อถือได้

3. ระบบควบคุม วัด เก็บและแสดงข้อมูล ตัวแปรที่ต้องควบคุมได้ในการทดลอง คืออัตราการไหลและระดับความดัน โดยอาศัยการทำงานร่วมกันระหว่างตัวปรับความเร็วรอบมอเตอร์ของเครื่องสูบน้ำ (inverter) และวาล์วควบคุม (control valve) ขณะที่การเก็บข้อมูลอัตราการไหลและระดับความดันจะทำเป็นระบบอัตโนมัติ เพื่อความสะดวกในการทดลองและนำผลการทดลองไปใช้ โดยจะใช้ data logger ในการเก็บและแสดงผลข้อมูล ร่วมกับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มี data logging software และใช้เซนเซอร์วัดความดัน (pressure sensor) เป็นตัววัดค่าความดันในชั้นน้ำ สำหรับค่าอัตราการไหลในการทดลองจะประยุกต์ใช้ฝายวัดอัตราการไหล โดยใช้เซนเซอร์วัดความดันวัดค่าระดับน้ำเหนือฝายแล้วแปลงค่าที่ได้เป็นอัตราการไหลต่อไป

ซึ่งทั้ง 3 ส่วนจะทำงานสัมพันธ์กัน ดังแสดงในรูปที่ 3-1 เป็นภาพแสดงการเชื่อมโยงระหว่างระบบทั้งหมด ในกรณีการทดลองการเติมน้ำใต้ดิน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



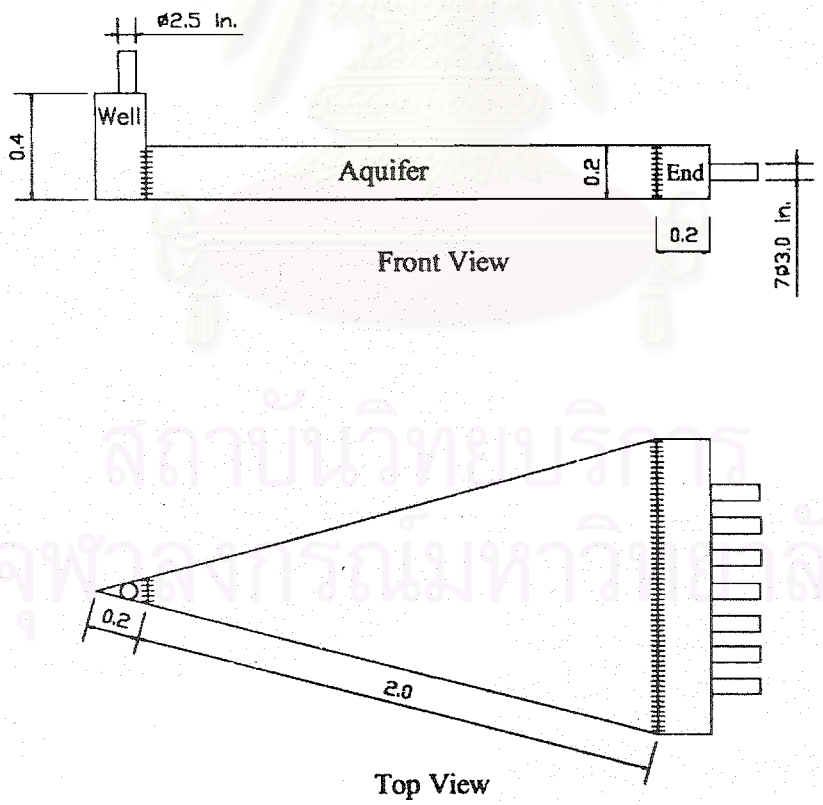
รูปที่ 3-1 การเชื่อมโยงระหว่างระบบต่างๆของเครื่องมือ กรณีการทดลองการเติมน้ำใต้ดิน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4 ผลการออกแบบ

เครื่องมือที่ออกแบบไว้ ประกอบด้วย ส่วนประกอบ 3 ส่วน ดังนี้

1. แบบจำลองบ่อน้ำบาดาล-ชั้นน้ำ (well-aquifer model) มีลักษณะการไหลในแนวรัศมี ชั้นน้ำเป็นรูปส่วนหนึ่งของวงกลม ที่มีมุมที่จุดศูนย์กลาง 30 องศา รัศมี 2 เมตร ความหนา 0.2 เมตร มีโครงเป็นเหล็ก ด้านหลังและด้านล่างของแบบจำลองเป็นแผ่นเหล็ก แต่ด้านหน้าและด้านบนของแบบจำลองทำด้วยพลาสติกใสเพื่อใช้สังเกตการไหลของน้ำใต้ดิน และเพื่อให้บ่อบาดาลทดลองมีความสอดคล้องกับชั้นน้ำจำลอง จึงทำบ่อบาดาลทดลองเป็นรูปส่วนหนึ่งของวงกลม ที่มีมุมที่จุดศูนย์กลาง 30 องศา รัศมี 0.2 เมตร ความสูง 0.4 เมตร โดยทำจากแผ่นเหล็ก เจาะช่องและติดตะแกรงบริเวณที่ติดกับชั้นน้ำ ซึ่งเป็นการจำลองสภาพบ่อบาดาลที่มีท่อกรองตลอดความลึกชั้นน้ำ (fully penetrated well) ลักษณะของแบบจำลองบ่อบาดาล-ชั้นน้ำแสดงในรูปที่ 3-2



รูปที่ 3-2 ลักษณะของแบบจำลองบ่อบาดาล-ชั้นน้ำ

2. ระบบหมุนเวียนน้ำ (circulating water system)

เนื่องจากเครื่องมือต้องออกแบบให้สามารถทดลองได้ทั้งการสูบและการอัดเติมน้ำใต้ดิน ดังนั้น ระบบหมุนเวียนน้ำที่จัดทำ ได้ออกแบบให้รองรับการทดลองได้ทั้ง 2 ลักษณะดังกล่าว ระบบท่อจึงมีทั้งท่อแข็ง (ท่อเหล็ก) และท่ออ่อน (สายยางพลาสติก) เพื่อปรับเปลี่ยนได้ตามลักษณะการทดลองดังแสดงในรูปที่ 3-3

ระบบหมุนเวียนน้ำประกอบด้วยส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

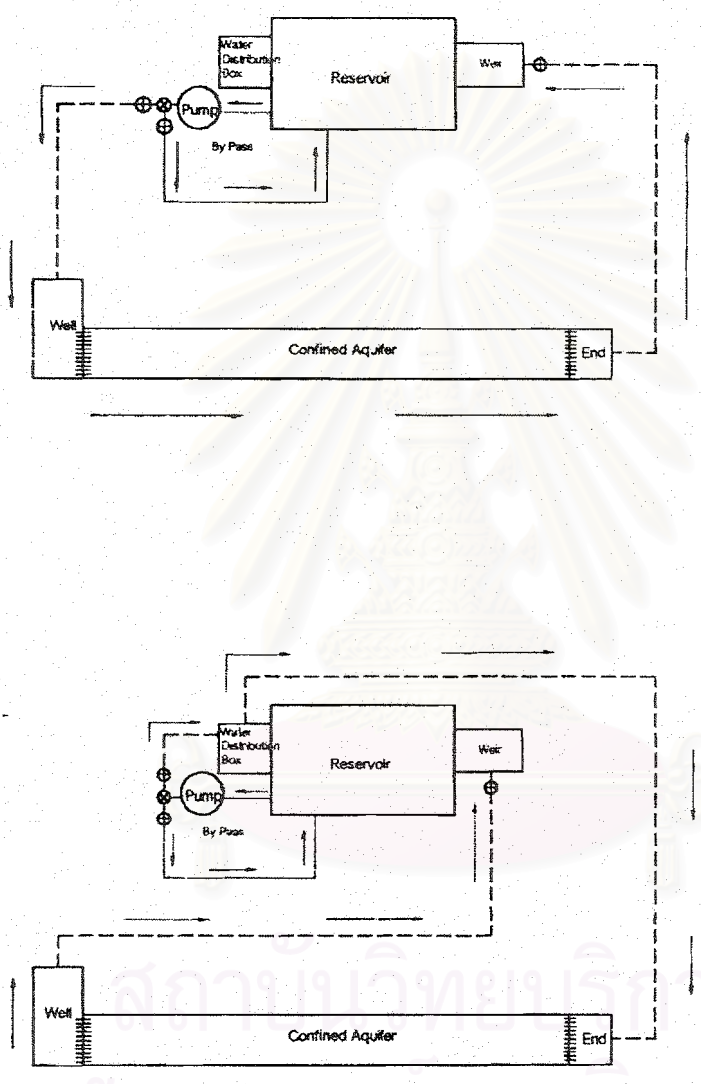
- ถังเก็บน้ำ ขนาดกว้าง 0.5 เมตร ยาว 1.0 เมตร สูง 0.8 เมตร ทำจากแผ่นเหล็ก เพื่อใช้ในการเก็บน้ำเพื่อหมุนเวียนในการทดลอง

- เครื่องสูบน้ำ ใช้เครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง (centrifugral pump) ที่สามารถให้เฮดด้านส่งสูงสุดเท่ากับ 50 เมตรของน้ำ และอัตราการไหลสูงสุดเท่ากับ 150 ลิตรต่อนาที ที่ความเร็วรอบ 2,850 รอบต่อนาที ขับเคลื่อนโดยมอเตอร์ไฟฟ้า ขนาด 3 กิโลวัตต์(4 แรงม้า) ใช้ไฟ 380 โวลต์ 3 เฟส 50 H_z (รายละเอียดเพิ่มเติมของเครื่องสูบน้ำที่ใช้แสดงในภาคผนวก ง)

- ระบบท่อและวาล์ว การไหลเวียนของน้ำในการทดลองจะถูกส่งผ่านระบบท่อที่ประกอบด้วยท่อเหล็ก และสายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว และ 3 นิ้ว และควบคุมปริมาณการไหลโดยวาล์ว โดยมีระบบท่อ bypass ที่ท่อส่งของเครื่องสูบน้ำเพื่อลดความดันที่มากเกินไปในช่วงแรกของการเดินเครื่องเครื่องสูบน้ำ เมื่อความดันลดลงถึงระดับที่ทดลองจึงเปิดวาล์วเพื่อให้น้ำเข้าสู่แบบจำลอง

- กล่องกระจายน้ำ (water distribution box) ใช้เมื่อทำการทดลองกรณีน้ำไหลเข้าบ่อบาดาลในการไหลแบบรัศมี เพื่อให้น้ำไหลเข้าด้านท้าย (end) ของชั้นน้ำในแนวรัศมีอย่างแท้จริง

- ฝายวัดอัตราการไหล (weir) เป็นฝายสี่เหลี่ยมสันคมทำจากแผ่นสแตนเลส มีช่องเปิดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า สูง 20 เซนติเมตร ความกว้างสันฝาย 2.12 เซนติเมตร วัดอัตราการไหลได้สูงสุด 3.6 ลิตรต่อวินาที โดยติดตั้งอยู่ในรางวัดอัตราการไหล ที่ติดอยู่กับถังเก็บน้ำทดลอง ส่วนระดับน้ำที่ผ่านฝายอ่านได้จากเซนเซอร์วัดความดัน และหลอดวัดระดับน้ำที่ติดอยู่ด้านข้างของรางวัดอัตราการไหล (รายละเอียดเพิ่มเติมของฝายวัดอัตราการไหล ดูได้ในภาคผนวก จ)



รูปที่ 3-3 ระบบการหมุนเวียนน้ำ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. ระบบควบคุม วัด เก็บและแสดงข้อมูล

ระบบควบคุม วัดและเก็บข้อมูล แบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ระบบควบคุม และระบบวัดเก็บและแสดงข้อมูล ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- ระบบควบคุม ประกอบด้วย ตัวปรับความเร็วรอบมอเตอร์ (inverter) ชนิด 3 เฟส ขนาด 3.7 กิโลวัตต์ ใช้ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้าของเครื่องสูบน้ำเพื่อควบคุมอัตราการไหลและระดับความดันในการทดลองได้ตามต้องการ โดยใช้งานร่วมกับวาล์วควบคุม (รายละเอียดของตัวปรับความเร็วรอบมอเตอร์ แสดงในภาคผนวก ฉ)

- ระบบวัด เก็บและแสดงข้อมูล คือระบบเครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าแรงดันน้ำในจุดที่สนใจได้แก่ ที่ท่อส่งของเครื่องสูบน้ำ บ่อบาดาล จุดต่างๆชั้นน้ำและหน้าฝายวัดอัตราการไหล และบันทึกค่าที่วัดได้เข้าสู่หน่วยความจำ เมื่อต้องการนำข้อมูลไปใช้ก็ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการดึงข้อมูลที่อยู่ในหน่วยความจำออกมา ระบบนี้ประกอบด้วย

  - เครื่อง data logger ที่วัดได้ 16 ช่องสัญญาณ มีความจุหน่วยความจำ 256 kbyte ความแม่นยำในการวัด(accuracy) 0.1 % (รายละเอียดของ data logger แสดงในภาคผนวก ช)

  - เซนเซอร์วัดความดัน ชนิด Piezoelectric จำนวน 15 ตัว ที่วัดแรงดันน้ำได้ได้ในช่วง 0 ถึง 100 psi (0-69 mH_2O) ใช้สำหรับวัดแรงดันน้ำที่จุดต่างๆในแบบจำลอง และอีก 1 ตัวที่วัดแรงดันน้ำได้ในช่วง 0-50 mmHg (0- 0.67 mH_2O) ใช้สำหรับวัดระดับน้ำหน้าฝายเพื่อใช้ในการคำนวณอัตราการไหล (รายละเอียดของเซนเซอร์วัดความดัน แสดงในภาคผนวก ซ)

  - เครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งมี data logging software โดยที่ data logging software ทำหน้าที่ในการโอนถ่ายข้อมูลไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ เก็บบันทึกข้อมูล ประมวลผลข้อมูลและแสดงผลข้อมูลระหว่างการทำทดลองและแสดงผลทดลองที่เสร็จแล้ว

3.5 รายการอุปกรณ์หลักที่ใช้

สรุปรายการอุปกรณ์หลักและวัสดุที่ใช้ในการประดิษฐ์มีดังนี้

ส่วนประกอบ / อุปกรณ์และวัสดุที่ใช้	จำนวน	Specification	หมายเหตุ
1) แบบจำลองชั้นน้ำ			
- เหล็กแผ่น 4*8 ฟุต หนา 6 มม.	8 แผ่น		
- เหล็กแผ่น 4*8 ฟุต หนา 9 มม.	3 แผ่น		
- ตะแกรงเหล็ก 4*8 ฟุต หนา 2 มม. ขนาดรู 3 มม.	1 แผ่น		
- พลาสติก 4*8 ฟุต หนา 10 มม.	3 แผ่น		
2) ระบบหมุนเวียนน้ำ(Water System)			
- เครื่องสูบน้ำ	1 เครื่อง	150 l/m @ 50 m	ดูภาคผนวก ง และ มี catalog
- วาล์วกันกลับ	1 ตัว	ทนแรงดันได้ 150 psi	
- โกลีบวาล์ว(วาล์วควบคุม)	3 ตัว	ทนแรงดันได้ 150 psi	
- สายยางท่อดูด 3 นิ้ว	24 เมตร		
- สายยางท่อดูด 2.5 นิ้ว	12 เมตร		
3) ระบบควบคุม (Control system)			
- เครื่อง Data logger	1 เครื่อง	16 ช่องสัญญาณ ความจุหน่วยความจำ 256 kbyte	ดูภาคผนวก ช
- เซนเซอร์วัดความดัน	16 ตัว	0 ถึง 100 psi (0-69 mH2O)	ดูภาคผนวก ช และ มี catalog
	2 ตัว	0-50 mmHg (0- 0.67 mH2O)	ดูภาคผนวก ช และ มี catalog
- ตัวปรับความเร็วรอบมอเตอร์	1 เครื่อง	3 เฟส 3.7kW	ดูภาคผนวก ฉ และมีคู่มือการใช้
- ตู้ควบคุม	1 ตู้		

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดสอบเครื่องมือ

เมื่อทำการประดิษฐ์เครื่องมือเสร็จแล้ว ได้ทำการทดสอบเครื่องมือว่ามีความผิดพลาดในการประกอบหรือไม่ เช่น ตรวจดูว่ามีการรั่วซึมของน้ำในเครื่องมือมีมากเกินไปหรือไม่ นอกจากนี้เครื่องมือวัดต่างๆที่นำมาใช้ ก็ต้องมีการสอบเทียบ (calibrate) ด้วย การทดสอบในส่วนต่างๆ มีดังนี้

1. แบบจำลองบ่อบาดาล-ชั้นน้ำ : ตรวจสอบรอยเชื่อมเหล็กและการยึดติดแผ่นพลาสติกและตะแกรงกันทรายกับโครงเหล็กตลอดจนตรวจสอบการติดตั้งเซนเซอร์วัดความดันเข้ากับแบบจำลอง เพื่อดูความแข็งแรงมั่นคงและการรั่วซึม ในการทดสอบการรั่วซึมทำต้องทำการขังน้ำในแบบจำลอง เมื่อพบรอยรั่วก็ใช้ซิลิโคลนหรือการอีพ็อคซีในการอุดรอยรั่ว ขณะที่การทดสอบความสามารถในการรับแรงดันและความมั่นคงของส่วนประกอบต่างๆ ทำโดยดำเนินการทดลองในสภาพใช้งานจริง โดยเพิ่มแรงดันน้ำจนถึงจุดที่ออกแบบ

2. ระบบหมุนเวียนน้ำ : ในการทดสอบส่วนระบบหมุนเวียนน้ำและฝายวัดอัตราการไหล ต้องตรวจสอบในส่วนต่างๆดังนี้

- ตรวจสอบถังเก็บน้ำว่าสามารถเก็บกักน้ำในปริมาณที่เพียงพอต่อการใช้ในการทดลองหรือไม่ และตรวจสอบการรั่วซึมของน้ำออกจากถังเก็บน้ำบริเวณรอยเชื่อมเหล็ก

- ตรวจสอบระบบท่อทั้งท่อแข็ง (ท่อเหล็ก) และท่ออ่อน (ท่อสายยาง) โดยตรวจดูการรั่วซึมบริเวณจุดเชื่อมต่อระหว่างท่อกับท่อ และระหว่างท่อกับแบบจำลอง พร้อมทั้งตรวจสอบความสามารถในการรับแรงดัน

- ตรวจสอบวาล์วในระบบหมุนเวียนน้ำว่าติดตั้งถูกตำแหน่งหรือไม่ ตลอดจนการรั่วซึมของน้ำบริเวณเชื่อมต่อกับท่อ

- ตรวจสอบการติดตั้งฝายว่าเกิดการรั่วของน้ำบริเวณจุดที่ทำการติดตั้งหรือไม่

3. ระบบควบคุม วัด เก็บและแสดงข้อมูล : การทดสอบในส่วนนี้เป็นการสอบเทียบเครื่องมือวัดความดันและอัตราการไหล ได้แก่ ทำการสอบเทียบเซนเซอร์วัดความดันเพื่อยืนยันว่า เซนเซอร์วัดความดัน ที่นำมาใช้ได้มาตรฐานและสามารถใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับแรงดันไฟฟ้าตามที่ผู้ผลิตแนะนำให้ใช้ได้ และทำการสอบเทียบฝายวัดอัตราการไหล เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำเหนือฝายกับอัตราการไหล นอกจากนี้ยังทำการสอบเทียบ data logger เพื่อดูความคลาดเคลื่อนในการแปลค่าความดันจากแรงดันไฟฟ้าของ data logger (ผลการสอบเทียบดังกล่าวข้างต้นแสดงในภาคผนวก ฌ)

4.2 ผลการใช้งาน

การใช้งานสิ่งประดิษฐ์มีอยู่ 2 รูปแบบตามการทดลอง ได้แก่ การทดลองการเติมน้ำและการสูบน้ำ ซึ่งทั้ง 2 รูปแบบมีการเชื่อมต่ออุปกรณ์ในส่วนระบบหมุนเวียนน้ำที่ต่างกันที่ต่างกัน ดังนี้

1. การเติมน้ำใต้ดิน น้ำจะไหลเข้าแบบจำลองทางบ่อบาดาล ดังนั้น จึงต้องเชื่อมต่อท่ออ่อนจากเครื่องสูบน้ำเข้าทางด้านบ่อบาดาล และน้ำจะไหลออกจากแบบจำลองทางด้านท้าย จึงเชื่อมต่อท่ออ่อนจากด้านท้ายของแบบจำลองเข้าสู่รางวัดอัตราการไหล

2. การสูบน้ำใต้ดิน การทดลองในลักษณะนี้มีการเชื่อมต่อท่อในทิศทางตรงข้ามกับการทดลองการเติมน้ำใต้ดิน กล่าวคือ น้ำจะไหลเข้าทางด้านท้ายของแบบจำลองและไหลออกจากแบบจำลองทางบ่อบาดาล จึงต้องเชื่อมต่อท่ออ่อนจากเครื่องสูบน้ำเข้าทางด้านท้ายแบบจำลอง และเชื่อมต่อท่ออ่อนจากบ่อบาดาลเข้าสู่รางวัดอัตราการไหลตามลำดับ

ขณะที่อุปกรณ์ในส่วนอื่นๆจะเชื่อมต่อเหมือนกันทั้ง 2 รูปแบบการทดลอง ในส่วนของโปรแกรมคอมพิวเตอร์หรือ data logging software จะใช้ในการควบคุมการทดลอง เก็บและแสดงผลการทดลอง โดยจะแบ่งเป็น 4 ส่วนได้แก่

- การควบคุมการทดลอง
- การดูผลการทดลองขณะดำเนินการทดลอง (real time)
- การดูผลการทดลองย้อนหลังในแต่ละการทดลอง
- การถ่ายโอนข้อมูลทั้งหมดจากหน่วยความจำใน data logger ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์

รายละเอียดวิธีการใช้เครื่องมือในการทดลองสามารถดูได้ในคู่มือการใช้งานของเครื่องมือในภาคผนวก ฎ

4.3 ผลการทดลอง

เครื่องมือที่ประดิษฐ์ขึ้น ได้รับการทดลองใช้งานเพื่อเป็นการทดสอบ โดยกำหนดการทดลองไว้ 3 ชุด คือ กรณีน้ำเปล่า (LAB 1) กรณีเติมน้ำในชั้นทราย (LAB 2) และกรณีสูบน้ำในชั้นทราย (LAB 3) ตามเงื่อนไขดังนี้

No	วัสดุ	ทิศทางการไหล	ความถี่(Hz)	Qx10^{-3} (ลบ.ม./วินาที)	Hp (เมตร)
LAB 1	น้ำเปล่า	การเติมน้ำ	10-40	0.9-3.3	2.19-27.14
LAB 2	ทราย (0.7ม.ม.)	การเติมน้ำ	20-30	0.7-1.7	6.23-20.20
LAB 3	ทราย (0.7ม.ม.)	การสูบน้ำ	10-20	0.4-0.8	3.32-10.32

ผลการทดลองเพื่อหาแผนผังควบคุมการทดลอง (control chart) แสดงในตารางที่ 1 ถึง 3 โดยแสดงความถี่ของรอบการหมุนของมอเตอร์เครื่องสูบน้ำ (Hz) จำนวนรอบของวาล์วที่เปิด (valve opening) เฮดที่เครื่องสูบน้ำ (Hp) เฮดที่บ่อบาดาล (Hw) เฮดที่ด้านท้ายแบบจำลอง (Hend) และผลต่างของเฮดที่บ่อบาดาลและท้ายน้ำ (dH= $\left|$ Hw-Hend $\right|$) ขณะที่อัตราการไหล (Q) อยู่ในช่วง 0.0004 ถึง 0.0033 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (อัตราการไหลของเครื่องสูบน้ำที่ออกแบบเท่ากับ 150 ลิตรต่อนาทีหรือ 0.0025 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที แสดงว่าในกรณีที่ใช้น้ำในการทดลองสามารถทดลองได้ด้วยอัตราการไหลสูงกว่าที่ออกแบบ เนื่องจากเปิดวาล์วทุกตัวจนสุด และแรงเสียดทานการไหลของน้ำเพียงอย่างเดียวมีน้อยมาก ขณะที่เมื่อใช้ทรายขนาด 0.7 มิลลิเมตรเป็นตัวกลางพบว่าอัตราการไหลที่ใช้ทดลองมีค่าสูงสุด 0.0017 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เนื่องจากการไหลของน้ำผ่านทรายมีเฮดสูญเสียเกิดขึ้นมากกว่า แต่ถ้าใช้ทรายที่ขนาดใหญ่กว่านี้ก็จะได้อัตราการไหลที่สูงมากขึ้น)

ตารางที่ 4-1 ผลการทดลองของ LAB 1

LAB1 : Water (recharge)									
Hz	Valve Open (รอบ)	Q (m^3/s)	P16 (mm)	Hp (m)	Hw (m)	Hend (m)	dH (m)	dH/Hp	Q/Qmax
10	1	0.0009	150.8	-	2.09	1.86	0.23	-	0.26
	2	0.0010	156.3	-	1.58	1.41	0.17	-	0.28
	3	0.0010	157.1	-	1.43	1.27	0.16	-	0.29
	Full	0.0011	158.3	-	1.37	1.27	0.10	-	0.29
20	1	0.0017	190.9	6.98	5.55	5.26	0.29	0.04	0.47
	2	0.0016	187.5	4.79	3.05	2.78	0.27	0.06	0.45
	3	0.0011	159.4	2.46	1.54	1.37	0.17	0.07	0.30
	Full	0.0009	152.2	2.19	1.52	1.31	0.21	0.10	0.26
30	1	0.0023	219.0	14.62	11.16	10.79	0.37	0.03	0.64
	2	0.0026	230.0	11.03	6.82	6.37	0.45	0.04	0.71
	3	0.0026	232.0	10.40	5.84	5.37	0.47	0.05	0.73
	Full	0.0025	229.4	10.00	5.59	5.20	0.39	0.04	0.71
40	1	0.0028	241.1	27.14	18.41	18.01	0.40	0.01	0.79
	2	0.0032	256.1	19.02	11.24	10.76	0.48	0.03	0.89
	3	0.0032	257.1	17.73	10.00	9.36	0.64	0.04	0.90
	Full	0.0033	261.1	17.51	9.37	8.85	0.52	0.03	0.93

ตารางที่ 4-2 ผลการทดลองของ LAB 2

LAB2 : Sand 0.7 mm (recharge)									
Hz	Valve Open (รอบ)	Q (m^3/s)	P16 (mm)	Hp (m)	Hw (m)	Hend (m)	dH (m)	dH/Hp	Q/Qmax
20	1	0.0007	140.3	9.52	9.42	1.79	7.63	0.80	0.21
	2	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	0.0004	118.4	6.23	6.37	-	-	-	0.12
	Full	0.0004	118.5	6.61	6.73	1.40	5.33	0.81	0.12
30	1	0.0013	170.2	20.20	19.40	3.98	15.42	0.76	0.35
	2	0.0013	169.2	19.28	18.89	2.17	16.72	0.87	0.35
	3	0.0012	168.8	19.33	18.51	1.98	16.53	0.86	0.35
	Full	0.0013	170.5	19.03	18.33	1.87	16.46	0.86	0.35

ตารางที่ 4-3 ผลการทดลองของ LAB 3

LAB3 :Sand 0.7 mm (pumping)									
Hz	Valve Open (รอบ)	Q (m^3/s)	P16 (mm)	Hp (m)	Hw (m)	Hend (m)	dH (m)	dH/Hp	Q/Qmax
10	1	0.0002	95.8	3.32	2.22	3.49	1.27	0.38	0.05
	2	0.0002	95.0	3.32	2.21	3.51	1.30	0.39	0.04
	3	0.0002	94.7	3.34	2.20	3.50	1.30	0.39	0.04
	Full	0.0002	94.6	3.49	2.19	3.50	1.31	0.38	0.04
15	1	0.0003	112.2	6.39	2.05	6.62	4.57	0.72	0.10
	2	0.0003	110.6	6.43	1.95	6.63	4.68	0.73	0.09
	3	0.0003	112.4	6.41	1.91	6.63	4.72	0.74	0.10
	Full	0.0004	113.2	6.36	2.07	6.55	4.48	0.70	0.10
20	1	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	0.0005	122.6	10.25	1.34	10.50	9.16	0.89	0.13
	3	0.0005	124.4	10.32	1.33	10.56	9.23	0.89	0.14
	Full	0.0004	119.2	9.60	1.73	9.75	8.02	0.84	0.12

หมายเหตุ :P16 คือ เฮดน้ำที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดความดันที่ติดตั้งด้านเหนือน้ำของฝายวัดอัตราการไหล

Hp คือ เฮดน้ำที่ท่อส่งของเครื่องสูบน้ำ

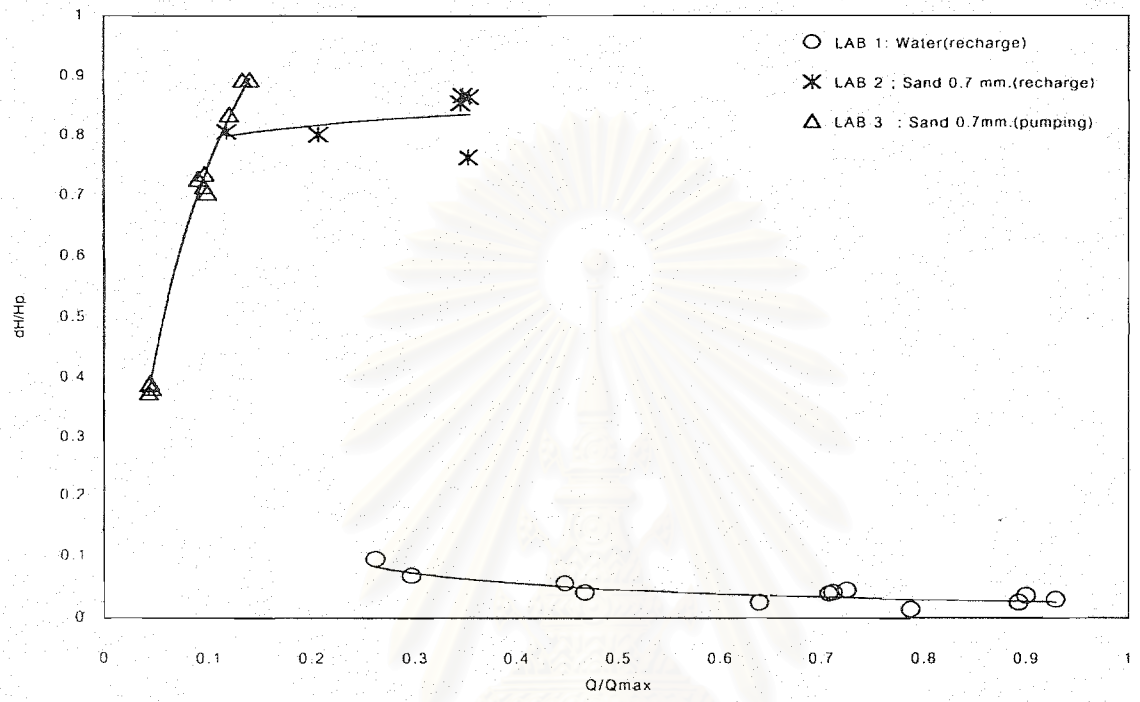
Hw คือ เฮดน้ำในบ่อบาดาล

Hend คือ เฮดน้ำด้านท้ายแบบจำลอง (เซนเซอร์ตัวสุดท้ายในแบบจำลอง)

dH คือผลต่างของเฮดที่บ่อบาดาลและท้ายน้ำ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากผลการทดลองในตารางที่ 4-1 ถึง 4-3 สามารถหาแผนผังควบคุมการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4-1



รูปที่ 4-1 แผนผังควบคุมการทดลอง

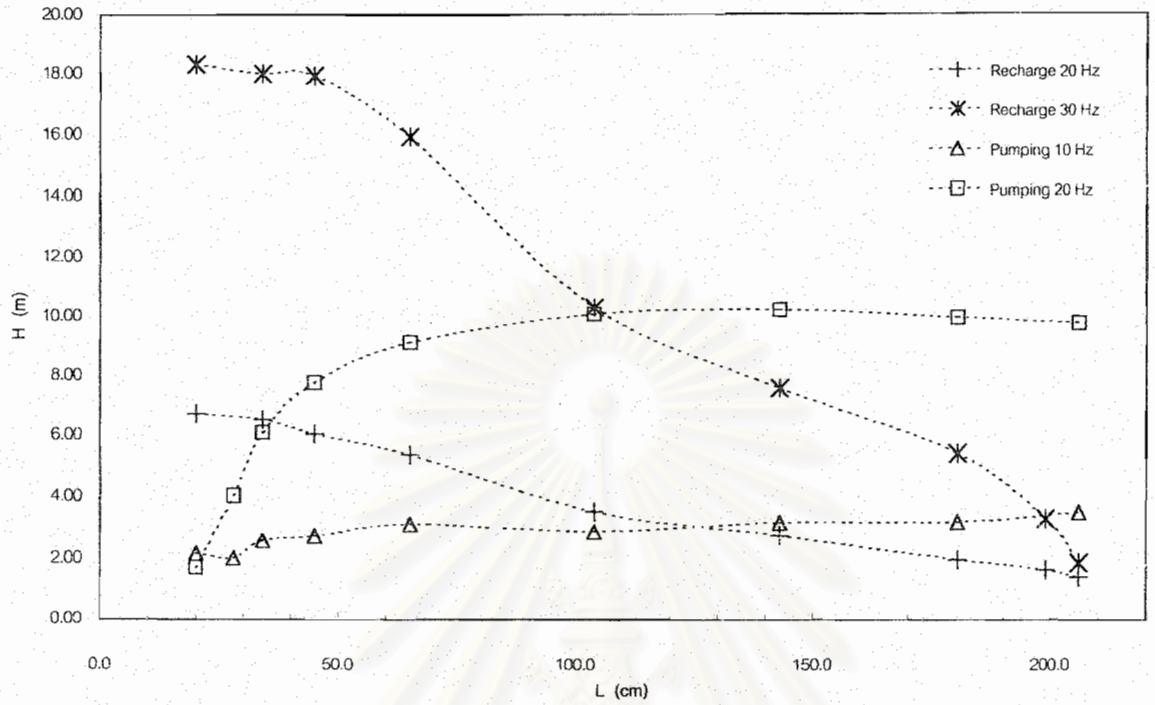
จากรูปที่ 4-1 จะเห็นได้ว่า ใน LAB1 กราฟค่อนข้างราบ เนื่องจากเป็นการไหลของน้ำที่ไม่ผ่านตัวกลาง เฮดสูญเสียที่เกิดขึ้น จะมีค่าใกล้เคียงกัน ในขณะที่ LAB2 และ LAB3 พบว่าเฮดสูญเสียหรืออัตราของเฮดสูญเสียจะมากขึ้น เมื่ออัตราการไหลเพิ่มสูงขึ้น

ผลการทดลองสามารถเปรียบเทียบเฮดตามแนวการไหลทั้งกรณีสูบน้ำและกรณีเติมน้ำและคำนวณหาค่า f และ Re ได้ ดังแสดงในตารางที่ 4-4 ซึ่งเป็นตัวอย่างผลการทดลองของ LAB 2 และ LAB 3 กรณีที่เปิดวาล์วจนสุด

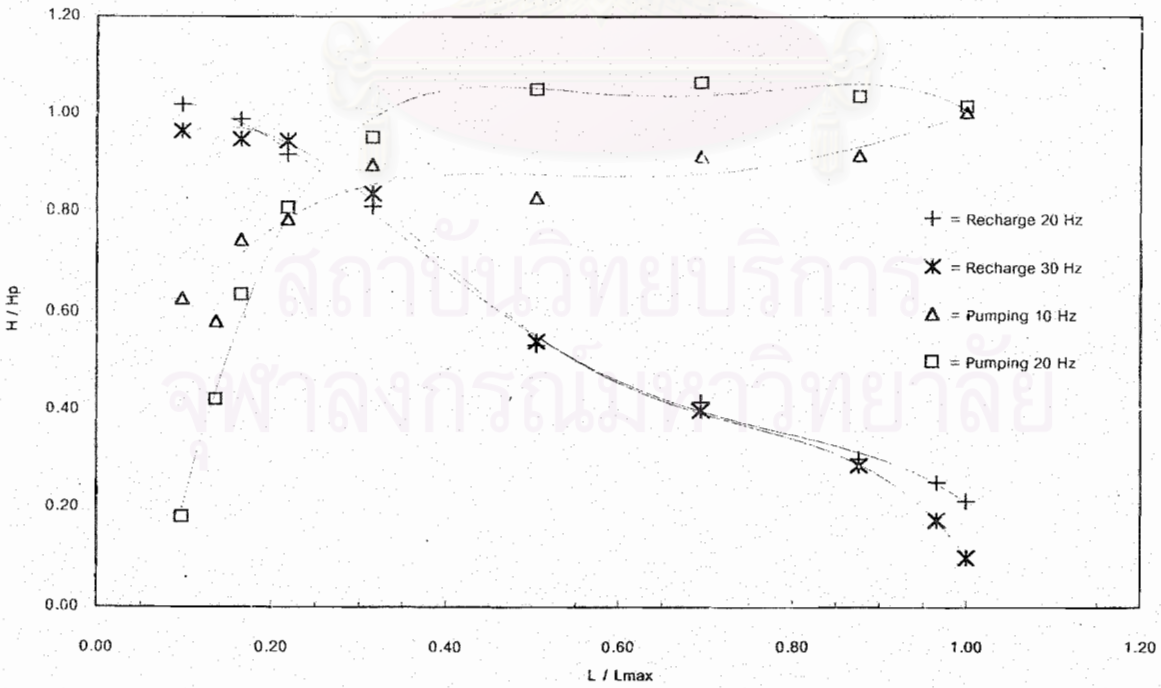
ตารางที่ 4-4 เปรียบเทียบเฮดตามแนวการไหล ทั้งกรณีสูบน้ำและเติมน้ำ ของ LAB 2 และ LAB 3

L	L/Lmax	Rechagre(LAB2)								
		20 Hz (Hp=6.61 m / Q=0.0004 m^3/s)				30 Hz (Hp=19.03 m / Q=0.0013 m^3/s)				
		H	H/Hp	Re	fd	H	H/Hp	v	Re	fd
20.0	0.10	6.73	1.02	5.159	6.58	18.33	0.96	0.06210	16.768	0.82
28.0	0.14	-	-	3.685	-	-	-	0.04436	11.977	-
34.0	0.17	6.53	0.99	3.035	30.55	18.02	0.95	0.03653	9.863	0.94
45.0	0.22	6.05	0.92	2.293	70.97	17.95	0.94	0.02760	7.452	12.50
65.0	0.32	5.36	0.81	1.587	176.95	15.92	0.84	0.01911	5.159	49.65
104.0	0.50	3.53	0.53	0.992	320.12	10.31	0.54	0.01194	3.225	93.60
143.0	0.69	2.75	0.42	0.722	336.24	7.58	0.40	0.00869	2.345	104.18
180.5	0.88	1.97	0.30	0.572	466.07	5.42	0.28	0.00688	1.858	207.48
199.0	0.97	1.65	0.25	0.519	532.76	3.29	0.17	0.00624	1.685	534.28
206.0	1.00	1.40	0.21	0.501	1,569.98	1.87	0.10	0.00603	1.628	1,097.63
L	L/Lmax	Pumping(LAB3)								
		10 Hz (Hp=3.49 m/ Q=0.0002 m^3/s)				20 Hz (Hp=9.60 m/ Q=0.0004 m^3/s)				
		H	H/Hp	Re	fd	H	H/Hp	v	Re	fd
20.0	0.10	2.19	0.63	2.580	35.52	1.73	0.18	0.01911	5.159	97.90
28.0	0.14	2.03	0.58	1.843	51.56	4.05	0.42	0.01365	3.685	219.83
34.0	0.17	2.60	0.74	1.517	180.08	6.10	0.64	0.01124	3.035	203.97
45.0	0.22	2.74	0.79	1.146	99.89	7.76	0.81	0.00849	2.293	183.13
65.0	0.32	3.12	0.89	0.794	125.05	9.12	0.95	0.00588	1.587	156.31
104.0	0.50	2.89	0.83	0.496	74.45	10.08	1.05	0.00367	0.992	145.51
143.0	0.69	3.18	0.91	0.361	288.21	10.22	1.06	0.00267	0.722	84.06
180.5	0.88	3.19	0.91	0.286	494.50	9.95	1.04	0.00212	0.572	258.29
199.0	0.97	-	-	0.259	-	-	-	0.00192	0.519	-
206.0	1.00	3.50	1.00	0.250	2,184.32	9.75	1.02	0.00186	0.501	409.56

จากตารางที่ 4-4 สามารถเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเฮดกับระยะทาง(piezometric head curve) ได้ในรูปที่ 4-2 และทำให้อยู่ในรูปตัวแปรไร้หน่วย ในรูปที่ 4-3 และหาความสัมพันธ์ระหว่าง f กับ R_e ของกรณีเติมน้ำและสูบน้ำได้ดังแสดงในรูปที่ 4-4 และ 4-5 ตามลำดับ

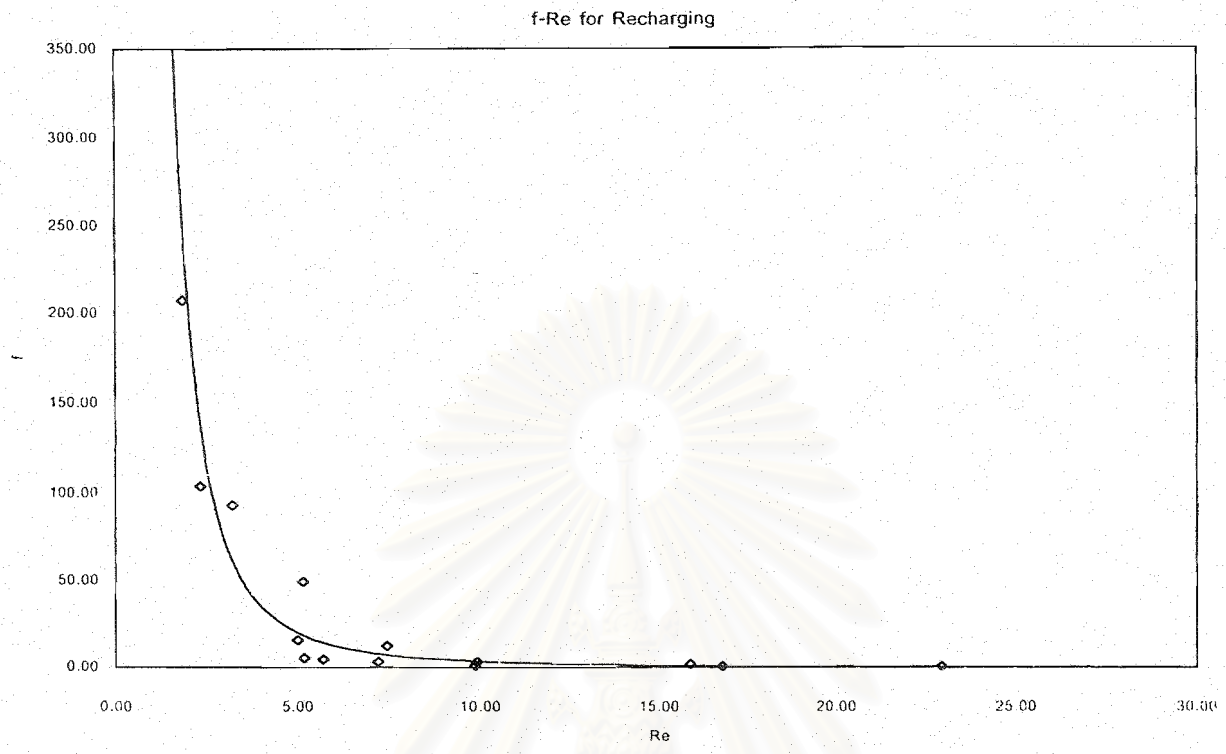


รูปที่ 4-2 Piezometric head curve

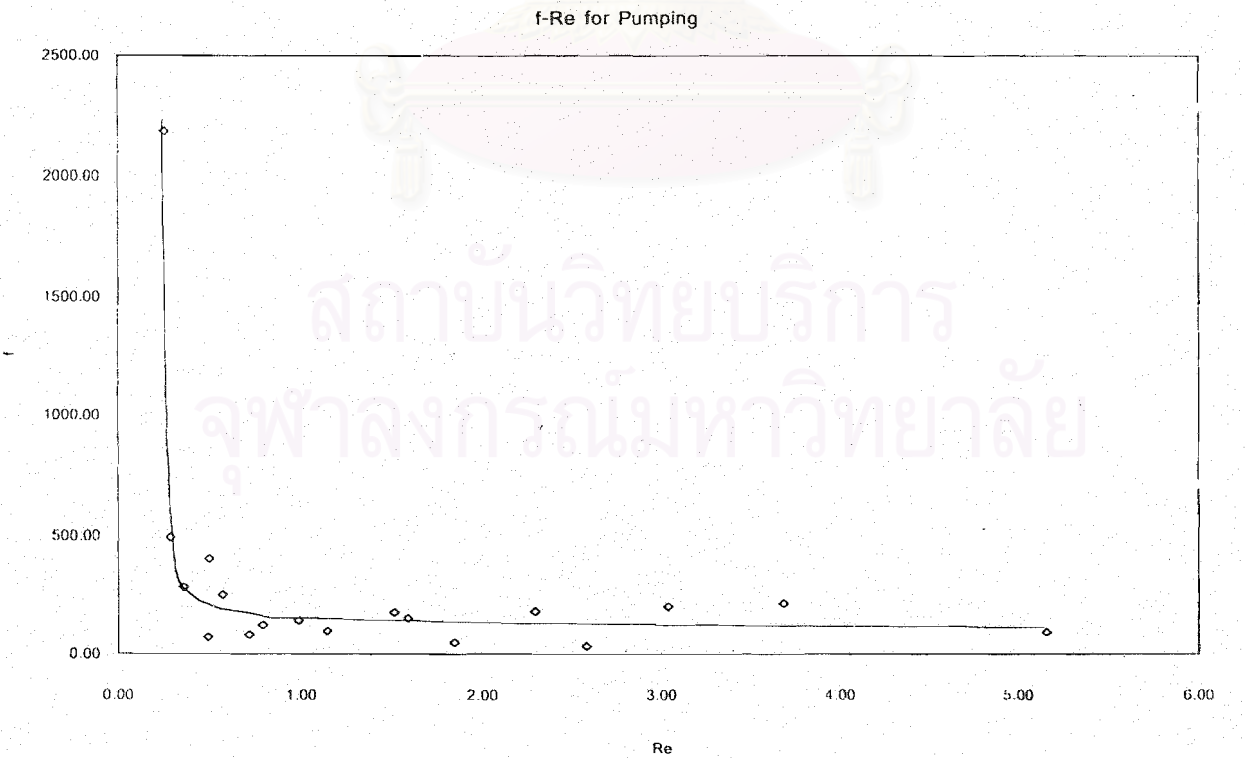


รูปที่ 4-3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง H/Hp และ L/Lmax

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง f กับ R_e กรณีเติมน้ำ



รูปที่ 4-5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง f กับ R_e กรณีสูบน้ำ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 4-2 และ 4-3 จะเห็นได้ว่าลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างเฮดกับระยะทาง จะเป็นไปในแนวทางเดียวกับทฤษฎีที่กล่าวถึงในบทที่ 2 ขณะที่รูปที่ 4-4 และ 4-5 แสดงให้เห็นแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่าง f กับ R_e ที่ค่อนข้างสอดคล้องกับ Moody Diagram ของการไหลในท่อ

4.4 การแสดงผลการทดลอง

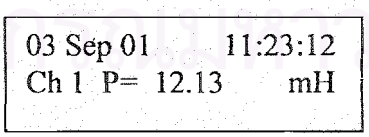
การแสดงผลการทดลอง การเก็บและเรียกใช้ข้อมูลจากการทดลอง ต้องใช้การทำงานร่วมกันระหว่างเครื่อง data logger และโปรแกรม data logging (รายละเอียดวิธีการใช้งาน จะอยู่ในคู่มือการใช้งานในภาคผนวก ฎ) โดยในที่นี้จะกล่าวถึงการแสดงผลการทดลองเป็นเบื้องต้น

การแสดงผลการทดลองหรือการดูผลการทดลอง สามารถดูได้ที่หน้าจอ LCD ของเครื่อง data logger หรือดูจากโปรแกรม data logging มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.4.1 การแสดงผลการทดลองในเครื่อง data logger

เนื่องจากเครื่อง data logger จะทำการเก็บค่าเฮดหรือความดันน้ำที่ตำแหน่งเซนเซอร์วัดความดัน โดยไม่มีการคำนวณหรือแสดงค่าอัตราการไหลในการทดลอง การแสดงผลการทดลองในเครื่อง data logger จึงแสดงเฉพาะค่าเฮดที่ตำแหน่งเซนเซอร์วัดความดัน (P1 ถึง P16) โดยเลือกแสดงได้ทีละตัวเท่านั้น เนื่องจากหน้าจอ LCD ของเครื่อง data logger มีขนาดเล็ก โดยรูปแบบที่แสดงมี 2 รูปแบบ ได้แก่

- การดูข้อมูลแบบปกติ (MODE1) เมื่อทำการทดลองแล้วเลือกรูปแบบการใช้งานของเครื่อง data logger ให้อยู่ใน MODE1 หน้าจอ LCD จะมีลักษณะดังรูปที่ 4-6



รูปที่ 4-6 หน้าจอ LCD ของ data logger ใน MODE1 ขณะทำการทดลอง

จากรูปที่ 4-6 หน้าจอ LCD จะแสดงข้อมูลเฮดที่ตำแหน่งเซนเซอร์วัดความดันที่เลือกให้แสดง (ในที่นี้คือ P2 หรือ Ch2) และจะแสดงวัน เวลาขณะทำการทดลอง

- การเก็บข้อมูลในหน่วยความจำ (MODE2) เมื่อเลือกรูปแบบการใช้งานเครื่อง data logger ให้อยู่ใน MODE2 เครื่อง data logger จะเก็บข้อมูลเฮดเข้าสู่หน่วยความจำ โดยมีอัตราการเก็บข้อมูล (sampling rate) ตาม sampling time ที่ตั้งค่าเอาไว้ ระหว่างการเก็บข้อมูลหน้าจอ LCD จะมีลักษณะดังรูปที่ 4-7

SR=01S AD=00729H Ch 3 P= 12.23 mH

รูปที่ 4-7 หน้าจอ LCD ของเครื่อง data logger ใน MODE2 ขณะทำการทดลอง

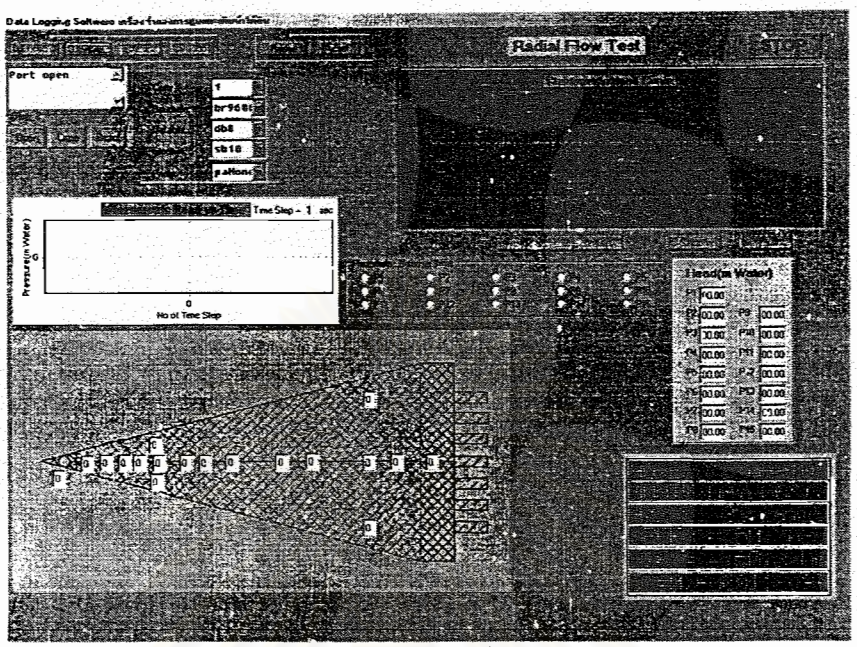
จากรูปที่ 4-7 หน้าจอ LCD จะแสดงข้อมูลเฮดที่ตำแหน่งเซนเซอร์วัดความดันที่เลือกให้แสดง (ในตัวอย่างคือเซนเซอร์วัดความดันตัวที่ 3 หรือ Ch 3 มีเฮดเท่ากับ 12.23 เมตร) อัตราในการเก็บข้อมูลเข้าสู่หน่วยความจำ(SR : ในตัวอย่าง SR=01 S หมายถึง อัตราการเก็บข้อมูลเท่ากับ 1 วินาที)และตำแหน่งที่เก็บข้อมูลในหน่วยความจำ(AD: ในตัวอย่างคือตำแหน่ง 00729H)

เนื่องจากเครื่อง data logger จะแสดงผลการทดลองได้ขณะทำการทดลองเท่านั้น ดังนั้นการจะดูผลการทดลองย้อนหลัง จะต้องอาศัยโปรแกรม data logging (รายละเอียดเพิ่มเติมดูได้ในคู่มือการใช้งาน)

4.4.2 การแสดงผลการทดลองโดยโปรแกรม data logging

โปรแกรม data logging จะนำข้อมูลที่เก็บใน data logger ทั้งหมดมาทำการคำนวณและแสดงผลออกมาทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ การแสดงผลการทดลองโดยโปรแกรม data logging จึงมีความสมบูรณ์กว่าการดูจากหน้าจอ LCD ของ data logger ซึ่งดูได้เฉพาะค่าเฮดที่เซ็นเซอร์วัดความดันตัวใดตัวหนึ่งเท่านั้น โดยรูปแบบการแสดงผลโดยโปรแกรม data logging มี 2 รูปแบบ ดังนี้

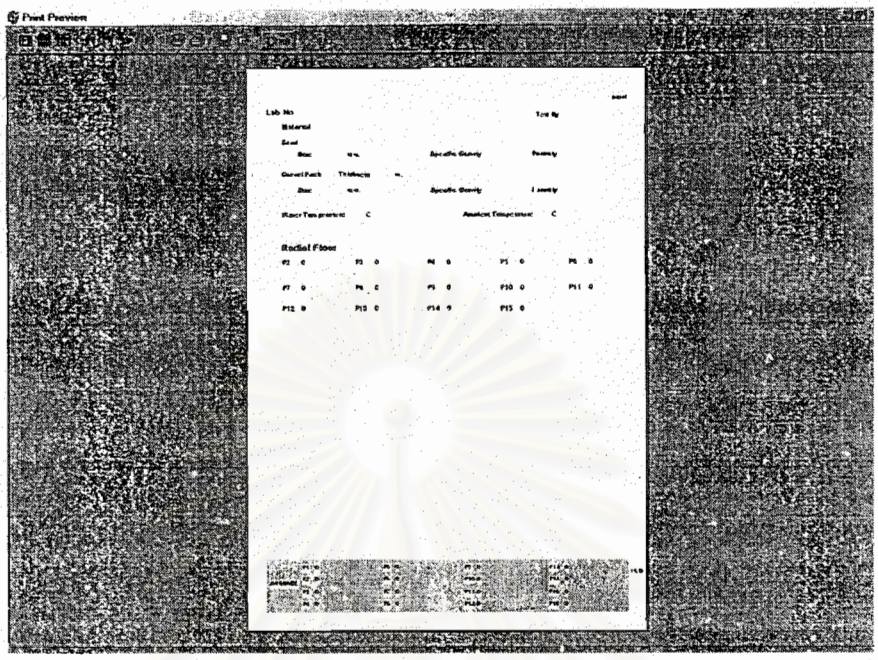
- การแสดงผลแบบทันทีทันใด หน้าจอมีลักษณะดังรูปที่ 4-8 จากรูปที่ 4-8 หน้าจอจะแสดงค่าของเฮดของทุกเซนเซอร์ และอัตราการไหลที่ได้จากการคำนวณ นอกจากนี้ยังสามารถดูการเปลี่ยนแปลงที่ตำแหน่งต่างๆ ตามเวลา ในรูปของกราฟ piezometric head VS time และการเปลี่ยนแปลงของเฮดตามระยะทาง (piezometric head curve)



รูปที่ 4-8 หน้าจอในรูปแบบการแสดงผลแบบทันทีทันใด

- การดูผลการทดลองย้อนหลัง ในส่วนของการดูผลการทดลองย้อนหลังจะมีหน้าจอดังรูปที่ 4-9 จากรูปที่ 4-9 หน้าจอจะแสดง ชื่อการทดลอง ชื่อผู้ทำการทดลอง คุณสมบัติของตัวกลางที่ใช้ในการทดลอง อุณหภูมิน้ำ อุณหภูมิห้อง ตำแหน่งเซ็นเซอร์วัดความดัน และเฮดที่เวลาต่างๆ โดยส่วนท้ายของหน้าจอจะทำการเฉลี่ยค่าเฮดเพื่อนำไปใช้ในการคำนวณต่อไปได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-9 หน้าจอในรูปแบบการดูผลการทดลองย้อนหลัง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 ข้อสรุป

โครงการสิ่งประดิษฐ์ "เครื่องจำลองการสูบและเติมน้ำใต้ดิน" ได้ทำการประดิษฐ์เครื่องมือที่ใช้ทดสอบการสูบและการเติมน้ำใต้ดินผ่านบ่อบาดาลในชั้นน้ำภายใต้แรงดัน (confined aquifer) โดยใช้ระยะเวลาในการดำเนินโครงการทั้งสิ้น 14 เดือน เริ่มตั้งแต่วันที่ 1 พฤษภาคม 2544 ถึงวันที่ 31 มิถุนายน 2545 โครงการมีจุดเริ่มต้นจากการที่คณะผู้วิจัยเห็นว่า การศึกษาพื้นฐานเกี่ยวกับการไหลของน้ำใต้ดินในระหว่างการสูบน้ำใต้ดินและการอัดเติมน้ำใต้ดินในชั้นน้ำภายใต้แรงดัน ยังไม่มีการดำเนินการอย่างจริงจังในประเทศ และการศึกษาด้านการดำเนินการ (operation) เกี่ยวกับการสูบน้ำใต้ดินและการอัดเติมน้ำใต้ดินยังไม่มีการศึกษาวิจัย นอกจากนี้ถ้ามีการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างการสูบน้ำและการอัดเติมน้ำให้เกิดความเข้าใจทางวิศวกรรมมากขึ้น จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการออกแบบและดำเนินการเกี่ยวกับการสูบน้ำและการอัดเติมน้ำบาดาลในอนาคต

คณะผู้วิจัยจึงดำเนินการออกแบบและจัดสร้างเครื่องมือเพื่อทำการศึกษาวิจัย ให้เข้าใจปรากฏการณ์และพฤติกรรมของการไหลของน้ำใต้ดิน ตลอดจนศึกษาองค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อการสูบและอัดเติมน้ำบาดาล โดยผสมผสานความรู้ทางวิศวกรรมทั้งทางโยธา ไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ในการประดิษฐ์ และสามารถนำเครื่องมือไปใช้ในการประกอบการเรียนการสอน การศึกษาวิจัยชั้นสูงและใช้เผยแพร่ความรู้ทางวิชาการให้ผู้ที่เกี่ยวข้องหรือผู้ที่สนใจทั่วไป

เครื่องมือที่ประดิษฐ์ขึ้นสามารถใช้งานทดลองทั้งในลักษณะการสูบและเติมน้ำผ่านบ่อบาดาล โดยกำหนดให้มีความดันอยู่ในช่วง 0 – 20 เมตรน้ำ และอัตราการไหลเท่ากับ 0 - 3.6 ลิตรต่อวินาที ซึ่งจำลองสภาพการไหลที่มีค่าเรย์โนลย์นัมเบอร์ เท่ากับ 0 – 170 เครื่องมือประกอบด้วย (1) แบบจำลองชั้นน้ำ-บ่อบาดาล เป็นโครงสร้างเหล็กรูปแบบส่วนหนึ่งของวงกลม มีรัศมี 2 เมตร หนา 0.2 เมตร มีมุมที่จุดศูนย์กลาง 30 องศา บ่อบาดาลมีขนาด 0.2 เมตร ความสูง 0.4 เมตร (2) ระบบหมุนเวียนน้ำ มีถังเก็บน้ำขนาด 0.5X1.0X0.8 เมตร เครื่องสูบน้ำขนาด 4 แรงม้า ระบบท่อและวาล์ว กล่องกระจายน้ำและฝายวัดอัตราการไหล (3) ระบบควบคุม วัด เก็บและแสดงผลข้อมูล มีตัวปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ มีระบบการเก็บข้อมูลความดัน ความสูงน้ำล้นฝาย เครื่องเก็บข้อมูล 16 ช่องสัญญาณ ซอฟแวร์คอมพิวเตอร์เพื่อใช้จัดการ โอนถ่าย แสดงผลและสรุปผลการทดลองในเครื่องคอมพิวเตอร์

ในส่วนของการควบคุมการทำงานของเครื่องมือ ได้ออกแบบให้ควบคุมได้แบบอัตโนมัติไม่ว่าจะเป็นตัวปรับความเร็วรอบมอเตอร์ของมอเตอร์ แต่วาล์วควบคุมยังใช้การปรับด้วยมือ ทำให้ระบบควบคุมการทำงานเป็นแบบกึ่งอัตโนมัติ (partial automatic) นอกจากนี้ทางคณะผู้วิจัยได้ทำจัดทำคู่มือการใช้งานซึ่งแสดงแผนภูมิของการควบคุมการทำการทดลอง (ดูได้จากคู่มือการใช้งานเครื่องมือในภาคผนวก ฎ) และได้ทำการทดลองกรณีจริง จำนวน 3 กรณีเพื่อทดสอบการใช้งานของเครื่องมือที่ประดิษฐ์ขึ้น

ในส่วนของการแสดงผลการทดลองถือว่าค่อนข้างสมบูรณ์เพราะ สามารถแสดงผลการทดลองได้ในแบบทันที (real time) และสามารถดูผลการทดลองย้อนหลังและข้อมูลจากการทดลองทั้งหมดได้โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เขียนขึ้นมา

5.2 ข้อเสนอแนะ

ตามที่คณะผู้วิจัยได้นำเนินโครงการตั้งแต่เริ่มต้นจนเสร็จสิ้นโครงการ ได้พบปัญหาและอุปสรรคในการทำงานบ้าง ส่วนใหญ่จะเป็นเรื่องของเวลาที่ไม่เพียงพอ เนื่องจากการปรับแต่งเครื่องมือให้พร้อมที่จะทำงานมีรายละเอียดค่อนข้างมากจึงใช้เวลามากกว่าที่วางแผนไว้ ตลอดจนเรื่องงบประมาณที่ไม่เพียงพอ ทำให้ระบบการควบคุมการทำงานไม่สามารถทำได้ตามที่วางแผนไว้ ทางคณะผู้วิจัยจึงมีข้อเสนอแนะจากโครงการนี้ ดังต่อไปนี้

- เครื่องมือนี้จะมีความสมบูรณ์มากขึ้น ถ้าได้เพิ่มระบบควบคุมการทำงานให้เป็นแบบอัตโนมัติเต็มรูปแบบ (fully automatic) ซึ่งต้องใช้งบประมาณและเวลาในการทำงานเพิ่มขึ้น

- ในการวัดอัตราการไหลในการทดลอง ควรจะเพิ่มอุปกรณ์วัดอัตราการไหลอีกชุดหนึ่ง อาจเป็นพวกเครื่องมือวัดอัตราการไหลในท่อโดยเฉพาะแบบสนามแม่เหล็กซึ่งมีความแม่นยำสูง เพื่อนำมาตรวจสอบกับอัตราการไหลที่วัดโดยใช้ฝายวัดอัตราการไหลที่มีความถูกต้องน้อยกว่า เพื่อให้ผลการทดลองมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น

T 308 b691

รายการอ้างอิง

1. กฤษดา วิศวธีรานนท์. 2534. PC ตัวควบคุมซีเคว้นซ์ หลักการทำงานและประยุกต์. ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

2. กฤษดา วิศวธีรานนท์. 2536. INVERTER หลักการทำงานและเทคนิคการใช้งาน. ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

3. ธีรจิต จิตรากรณ์. 2541. ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเติมน้ำใต้ดินโดยแรงโน้มถ่วงของโลกกับการกระจายตัวของขนาดทราย. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

4. วจี รามณรงค์. 2516. การระบายน้ำลงใต้ดินทางบ่อบาดาล. วิศวกรรมสาร, มกราคม-กุมภาพันธ์.

5. วินิต ช่ออวิเชียร. 2539. การออกแบบโครงสร้างเหล็ก. กรุงเทพฯ.

6. สมศักดิ์ กีรติวุฒิเศรษฐ์. 2543. หลักการและการใช้งานเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ.

7. สัจจะ จรัสรุ่งรวีวร, จักรพงษ์ สุขประเสริฐ. 2543. เริ่มต้นอย่างมืออาชีพด้วย Delphi 5 ฉบับสมบูรณ์. สำนักพิมพ์อินโฟเพรส, กรุงเทพฯ.

8. อำนวย พานิชกุล, สมนึก กุลประภา, วินิต ช่ออวิเชียร. 2535. การวิเคราะห์โครงสร้าง. กรุงเทพฯ.

9. Ackers, P., White, W.R., Perkins, J.A. and Harrisson, J.M. Weir and Flumes for Flow Measurement. John Wiley&Sons inc., USA.

10. Cox, R.J. 1977. A STUDY OF NEAR WELL GROUNDWATER FLOW AND THE IMPLICATION IN WELL DESIGN. Water Reserch Laboratory Report No.148, University of New South Wales.

11. David, R. and Pyne, G. 1994. GROUNDWATER RECHARGE and WELLS A Guide to Aquifer Storage Recovery. Lewis Publisher, USA.

12. Huyakorn, P. and Dudgeon, C.R. 1976. INVESTIGATION OF TWO-REGIME WELL FLOW. Journal of the Hydraulics Division, Vol.102, No.HY9, pp.1149-1165.

13. Mobysheri, F. and Todd, D.K. 1963 INVESTIGATION OF THE HYDRAULICS OF FLOW NEAR RECHARGE WELLS. Water Resources Center Contribution No.72, Hydraulic Laboratory University of California, Berkeley.

14. Mostafa, M., Soliman, A.M., ASCE. 1965. Boundary Flow Consideration in the Design of Wells. Journal of Irrigation and Drainage Division, Vol.91, No.IR1, pp.159-177.

15. Ramanarayanan, T.S. 1991. Laboratory and Numerical Simulation Studies on Groundwater Recharge through Unsaturated Zone. Thesis No.AE-91-56, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.

16. Thiruvengadam, M. and Padip Kumar, G.N., Member, ASCE. 1997. Validity of Forchheimer Equation in Radial Flow through Coarse Granular Media. Journal of Engineering Mechanics, Vol.123, No 7, pp.696-705.

17. Todd, D.K.1980. GROUNDWATER HYDROLOGY. John Wiley&Sons inc., USA.

18. Todd, D.K. 1990. HANDBOOK OF GROUNDWATER DEVELOPMENT. John Wiley&Sons inc., USA.

19. Vedat Batu, P.E. 1998. AQUIFER HYDRAULICS A Comprehensive Guide to Hydrogeologic Data Analysis. John Wiley&Sons inc., USA.

20. Williams, D.E. 1985. MODERN TECHNIQUES IN WELL DESIGN. Journal of American Water Work Association, Vol.77, pp.68-74.

ภาคผนวก ก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก
รายละเอียดทีมงานประดิษฐ์

หัวหน้าโครงการ

ชื่อ รองศาสตราจารย์ ดร.สุจริต คูณธนกุลวงศ์

ภาควิชา วิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะ วิศวกรรมศาสตร์

รายละเอียดของภาระงานที่รับผิดชอบในโครงการ ออกแบบแบบจำลองบ่อบาดาล-ชั้นน้ำ ระบบหมุนเวียนน้ำ กำกับดำเนินการประกอบและทดสอบเครื่องมือ และตรวจสอบเอกสารที่จัดทำ

นักวิจัยร่วม

ชื่อ รองศาสตราจารย์กฤษดา วิศวธีรานนท์

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า คณะ วิศวกรรมศาสตร์

รายละเอียดของภาระงานที่รับผิดชอบในโครงการ ออกแบบระบบควบคุม วัดและเก็บข้อมูล กำกับดำเนินการประกอบและทดสอบระบบควบคุม วัดและเก็บข้อมูล และตรวจสอบเอกสารที่จัดทำ

นิสิตผู้ช่วยวิจัย

ชื่อ นายนพดล เฉลิมชัยรัตนกุล

ปัจจุบัน นิสิตระดับปริญญามหาบัณฑิต ชั้นปีที่4 ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาระงานที่รับผิดชอบในโครงการ ติดต่อประสานงานในการออกแบบและจัดสร้างเครื่องมือ จัดซื้ออุปกรณ์ ช่วยประกอบและทดสอบเครื่องมือ เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จัดทำรายงานโครงการและคู่มือประกอบเครื่องมือ

บุคคลอื่นที่มีส่วนร่วมกับโครงการ

ชื่อ นายเอกวิทย์ หิรัญบูรณะ

ภาระงานที่รับผิดชอบในโครงการ ออกแบบ จัดสร้างและสอบเทียบ data logger และเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ชื่อ นายวุฒิชัย ชื่นจิตต์ นายภาณุสิทธิ์ ดวงศรี นายสันติภาพ เจียมตนและนายนริศ สุดใจดี

ภาระงานที่รับผิดชอบในโครงการ ร่วมจัดสร้างเครื่องมือในส่วนแบบจำลองบ่อบาดาล-ชั้นน้ำและระบบหมุนเวียนน้ำ และช่วยทดสอบเครื่องมือ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

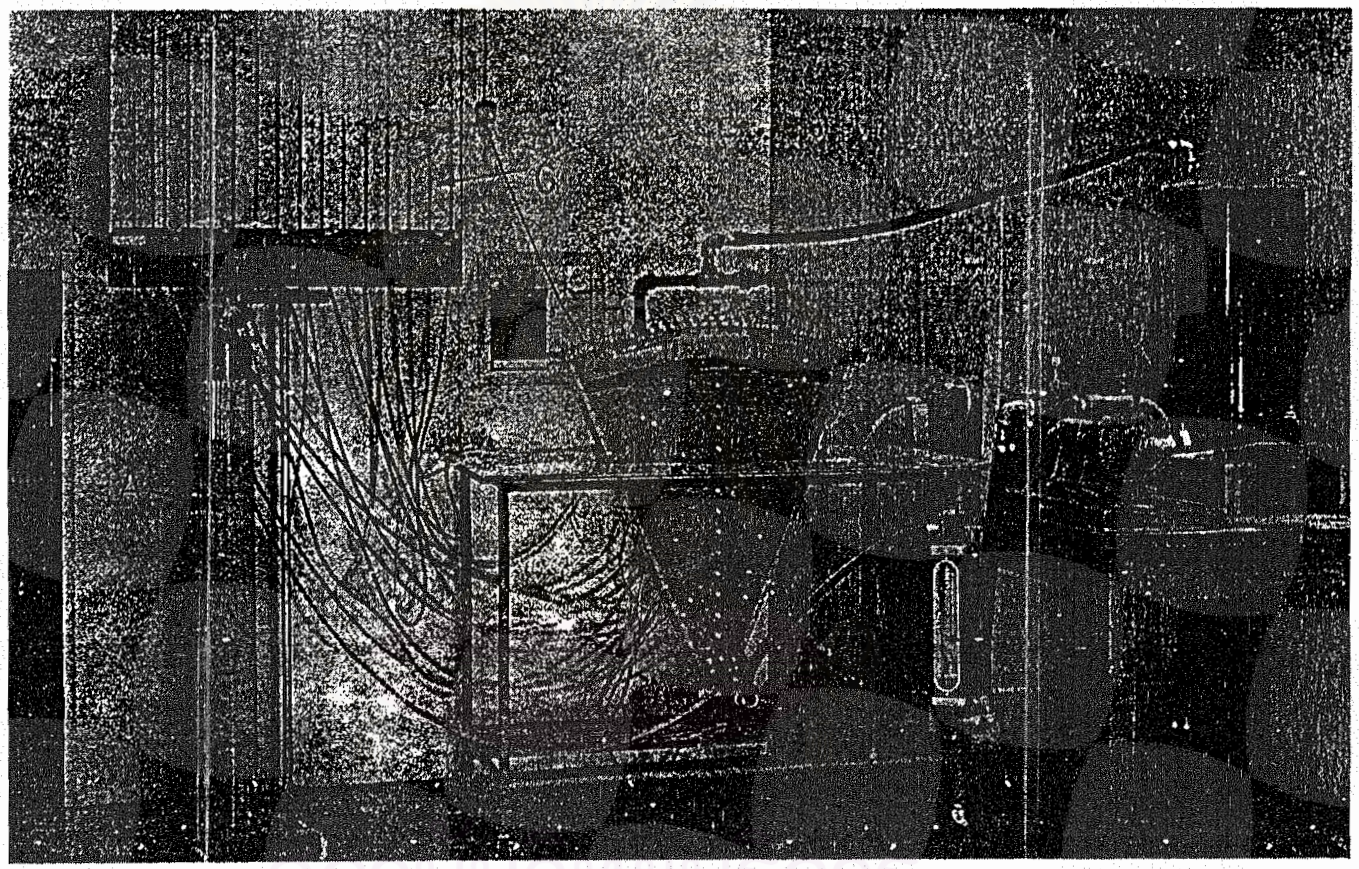
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข
รายละเอียดการศึกษาและผลงานที่เกี่ยวข้องในอดีต

1. ผลงานที่เกี่ยวข้องในต่างประเทศ

Todd (1963) ได้สร้างเครื่องมือเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเฮดสูญเสีย (head loss) ที่เกิดในชั้นน้ำบริเวณใกล้ๆกับบ่อบาดาลของการสูบน้ำและการเติมน้ำ ของชั้นน้ำภายใต้แรงดัน มีลักษณะดังรูปที่ ข-1 ประกอบด้วยส่วนประกอบดังนี้

1. บ่อบาดาลทดลอง (well) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 นิ้ว และตะแกรงทำจาก Perforated Metallic Screen ที่มีรูเจาะวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร
2. ชั้นน้ำ (aquifer) บรรจุทรายหรือวัสดุชั้นน้ำลงในกล่องรูปส่วนของวงกลม (sector) มุม 45 องศา ยาว 36 นิ้ว หนา 3 นิ้ว ทำจากพลาสติกใสหนา 0.5 นิ้ว
3. ระบบหมุนเวียนน้ำ (Hydraulic System) ประกอบด้วย
   - ถังเก็บน้ำ (reservoir)
   - เครื่องสูบน้ำหอยโข่ง (centrifugal pump) ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ปรับความเร็วรอบได้ (variable speed motor)
   - เครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบลูกลอย ประเภท "Stabl-Vis Flowrator"
4. เครื่องมือวัดแรงดันน้ำหรือเฮด (head) ของน้ำ โดยใช้พิโซมิเตอร์ (piezometer) ติดตั้งกระจายอยู่ในชั้นน้ำ
5. constant head permeameter ทำจากท่อพลาสติกใสเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน4 นิ้ว ใช้สำหรับทดสอบทรายหรือวัสดุชั้นน้ำเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง friction factor กับ Reynolds number ซึ่งใช้ในการแบ่งขอบข่ายการไหลเป็นแบบต่างๆ ได้แก่ การไหลแบบราบเรียบ (Laminar) การไหลแบบเปลี่ยนแปลง (Transition) การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent)

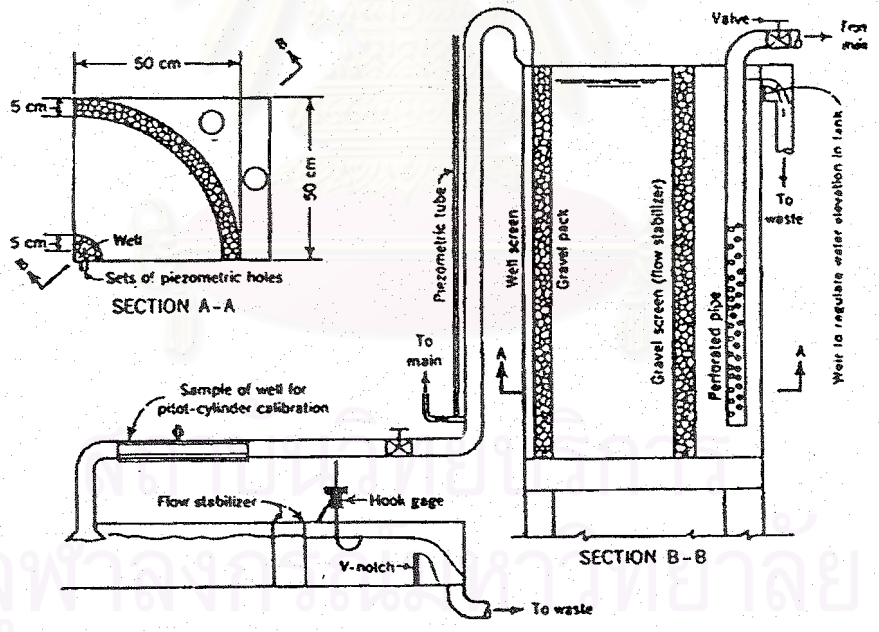


รูปที่ ข-1 ภาพแสดงเครื่องมือทดลองของ Todd

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Soliman (1965) ได้สร้างเครื่องมือเพื่อทำการทดสอบเกี่ยวกับการกระจายความเร็วของน้ำที่เข้าสู่บ่อบาดาล (entrance velocity distribution) และความเร็วของน้ำในบ่อบาดาล เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบท่อกรอง (screen) เครื่องมือที่สร้างมีลักษณะดังรูปที่ ข-2 ประกอบด้วยส่วนประกอบดังนี้

1. แบบจำลอง ขนาดกว้าง 50 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร สูง 175 เซนติเมตร ภายในบรรจุด้วยทรายชั้นน้ำและกรวดกรุบ่อลักษณะเสี้ยวของวงกลม มีบ่อบาดาลอยู่ที่มุมและท่อน้ำเข้าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 ฟุตอยู่ด้านทแยงมุมกับบ่อบาดาล
2. บ่อบาดาลทดลอง ทำจากท่อเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว ทำการเซาะร่องเป็นรูปวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 มิลลิเมตร รูห่างกัน 0.5 เซนติเมตร
3. เครื่องมือวัดแรงดันน้ำหรือเฮด (head) ของน้ำ ใช้พิโซมิเตอร์ (piezometer)
4. Pitot cylinder ใช้สำหรับวัดความเร็วของน้ำในบ่อบาดาล
5. V-notch weir สำหรับวัดอัตราการไหล



รูปที่ ข-2 ภาพแสดงเครื่องมือทดลองของ Soliman

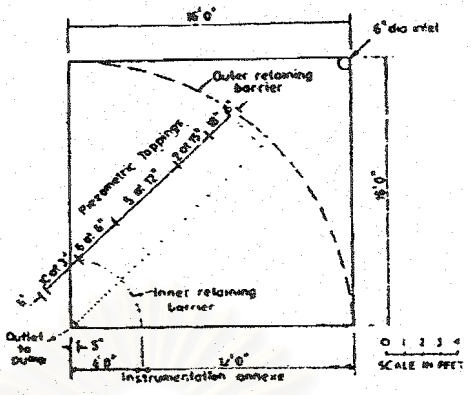
Garg & Lal (1971) ได้สร้างเครื่องมือที่จำลองลักษณะของชั้นน้ำภายใต้แรงดัน เพื่อทดสอบหาค่าเฮดสูญเสียในบ่อ (well loss) ที่เกิดขึ้นในท่อกรอง (screen) ประเภทต่างๆ เครื่องมือทดลองประกอบด้วยส่วนประกอบดังนี้

1. แบบจำลองทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.5 นิ้ว สูง 3 ฟุต ตรงกลางติดตั้งท่อกรองที่จะทำการทดสอบ ช่องว่างที่เหลือบรรจุด้วยกรวดกรุบ่อและทรายชั้นน้ำ มีลักษณะดังรูปที่ ข-3
2. เครื่องมือวัดอัตราการไหล ใช้ฝายสามเหลี่ยม ประเภท "V-notch Weir"
3. เครื่องมือวัดแรงดันน้ำหรือเฮด (head) ของน้ำ ใช้พิโซมิเตอร์ (piezometer) ติดตั้งทั้งภายในและภายนอกท่อกรอง

รูปที่ ข-3 ภาพแสดงแบบจำลองบ่อบาดาล-ชั้นน้ำของ Garg&Lal

Huyakorn & Dudgeon (1976) ได้สร้างเครื่องมือเพื่อจำลองการไหลของน้ำใต้ดินเข้าสู่บ่อบาดาลและพิจารณารูปร่างของกรวยน้ำลด (cone of depression) ที่เกิดขึ้นทั้งในบริเวณที่การไหลเป็นแบบราบเรียบและการไหลแบบปั่นป่วน โดยเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model) ที่ได้จัดทำขึ้น เครื่องมือทดลองประกอบด้วยส่วนประกอบดังนี้

1. แบบจำลอง ขนาดกว้าง 16 ฟุต ยาว 16 ฟุต สูง 11 ฟุต ภายในบรรจุด้วยทรายชั้นน้ำและกรวดกรุบ่อลักษณะเสี้ยวของวงกลม มีบ่อบาดาลอยู่ที่มุมและท่อน้ำเข้าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้วอยู่ด้านทแยงมุมกับบ่อบาดาล มีลักษณะดังรูปที่ ข-4
2. บ่อบาดาลทดลอง ทำจากท่อเส้นผ่าศูนย์กลาง 5นิ้ว ทำการเซาะร่องเป็นรูปวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 มิลลิเมตร รูห่างกัน 0.5 เซนติเมตร
3. ระบบหมุนเวียนน้ำ ใช้เครื่องสูบน้ำหอยโข่งขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ 20 แรงม้า ให้อัตราการไหลสูงสุด 2 ลูกบาศ์กฟุตต่อวินาที ที่เฮด 60 ฟุต
4. เครื่องมือวัดแรงดันน้ำหรือเฮด (head) ของน้ำ ใช้พิโซมิเตอร์ (piezometer)
5. เครื่องมือวัดอัตราการไหล ใช้ orifice plate
6. permeameter เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 6 นิ้ว



รูปที่ ข-4 ภาพแสดงแบบจำลองบ่อบาดาล-ชั้นน้ำของ Huyakorn&Dudgeon

Willams (1985) ได้สร้างเครื่องมือเพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการออกแบบบ่อสูบน้ำบาดาล (pumping well) เช่น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวของท่อกรอง ชนิดและความหนาของกรวดกรุบ่อ เครื่องมือมีลักษณะดังรูปที่ ข-5 ประกอบด้วยส่วนประกอบดังนี้

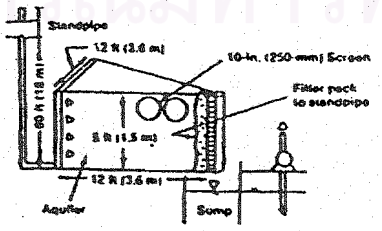
1. บ่อบาดาล (well) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 นิ้ว เป็นท่อกรองที่มีขายในท้องตลาด (commercial screen)

2. ชั้นน้ำ (aquifer) บรรจุทรายหรือวัสดุชั้นน้ำลงในกล่องรูปส่วนของวงกลม (sector) มุม 60 องศา ยาว 3.6 เมตร หนา 1.5 เมตร

3. ระบบหมุนเวียนน้ำ (hydraulic system) ประกอบด้วย

- ถังเก็บน้ำ (reservoir)
- เครื่องสูบน้ำหอยโข่ง (centrifugal pump) ให้อัตราการไหลสูงสุด 300 แกลลอนต่อนาที
- Standpipe สูง 18 เมตร เพื่อสร้างเฮดในชั้นน้ำด้านไกลจากบ่อบาดาล

4. เครื่องมือวัดแรงดันน้ำหรือเฮด (head) ของน้ำ ใช้พิโซมิเตอร์ (piezometer) ที่มี tranducer ทั้งหมด 47 ตัว



รูปที่ ข-5 ภาพแสดงแบบจำลองบ่อบาดาล-ชั้นน้ำของ Williams

2. ผลงานที่เกี่ยวข้องในประเทศ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (1997) โดยภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ได้จัดสร้างเครื่องมือเพื่อจำลองสภาพของชั้นน้ำเปิด(Unconfined Aquifer) และทำการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเติมน้ำใต้ดินโดยแรงโน้มถ่วงของโลกกับการกระจายตัวของขนาดทราย โดยทดลองทั้งกรณีใช้สระเติมน้ำทดลองและบ่อบาดาลทดลอง และนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์เปรียบเทียบกับการทดลองการเติมน้ำในพื้นที่ทดลองภาคสนามที่จังหวัดกำแพงเพชร ลักษณะของอุปกรณ์ทดลองพร้อมส่วนประกอบต่างๆมีดังนี้

1. แบบจำลองการเติมน้ำใต้ดิน ขนาดกว้าง 1.0 เมตร ยาว 2.1 เมตร สูง 1.5 เมตร ทำจากแผ่นเหล็ก ภายในบรรจุด้วยทรายที่จะนำมาทดสอบ ด้านล่างมีถังบรรจุน้ำขนาดกว้าง 0.8 เมตร ยาว 0.4 เมตร สูง 0.6 เมตร ใช้เป็นแหล่งน้ำหมุนเวียนในการทดลอง แบบจำลองมีลักษณะดังรูปที่ ข-6

2. อุปกรณ์เติมน้ำในแบจำลอง มี 2 ชนิด ได้แก่ สระเติมน้ำทดลองและบ่อบาดาลทดลอง โดยสระเติมน้ำทดลองทำจากแผ่นเหล็ก มีขนาดกว้าง 0.1 เมตร ยาว 0.4 เมตร สูง 0.3 เมตร ก้นสระเปิด ขณะที่บ่อบาดาลทดลองทำจากท่อพลาสติก P.V.C.ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว ยาว 1 เมตร ปลายด้านล่างถูกอุดและเจาะเซาะร่องด้านข้างเป็นแนว จำนวน 8 แนว กว้าง 0.01 เมตร สูง 0.17 เมตร พันรอบด้วยตาข่ายกันทราย ด้านบนเจาะช่องระบายน้ำเพื่อกำหนดระดับน้ำเติม

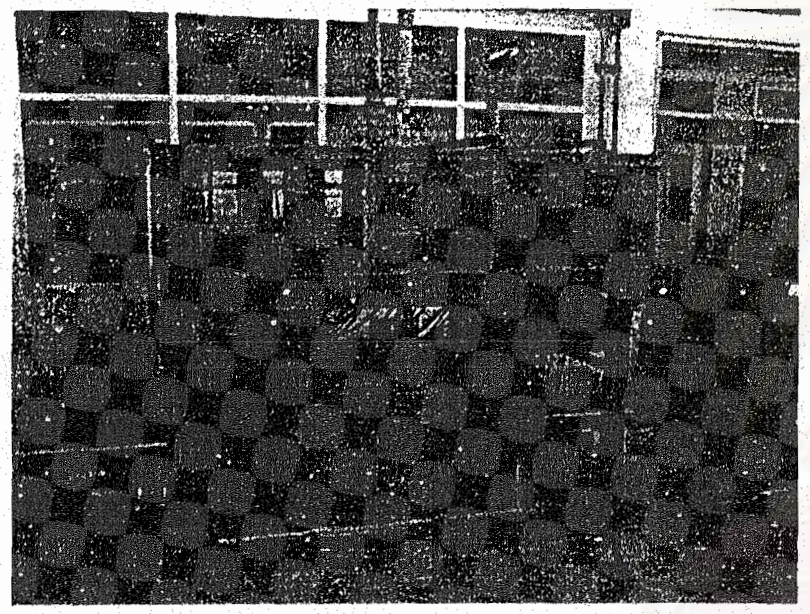
3. เครื่องสูบและระบบท่อ น้ำที่นำมาทดลองมาจากการหมุนเวียนน้ำ โดยผ่านระบบท่อพลาสติก P.V.C.ขนาดส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว โดยการสูบน้ำจากถังบรรจุน้ำด้านล่างของแบบจำลอง โดยเครื่องสูบน้ำที่ใช้มีอัตราการไหลสูงสุดที่ 1000 ลิตรต่อนาที การควบคุมปริมาณการไหลใช้วาล์วควบคุม (control valve)

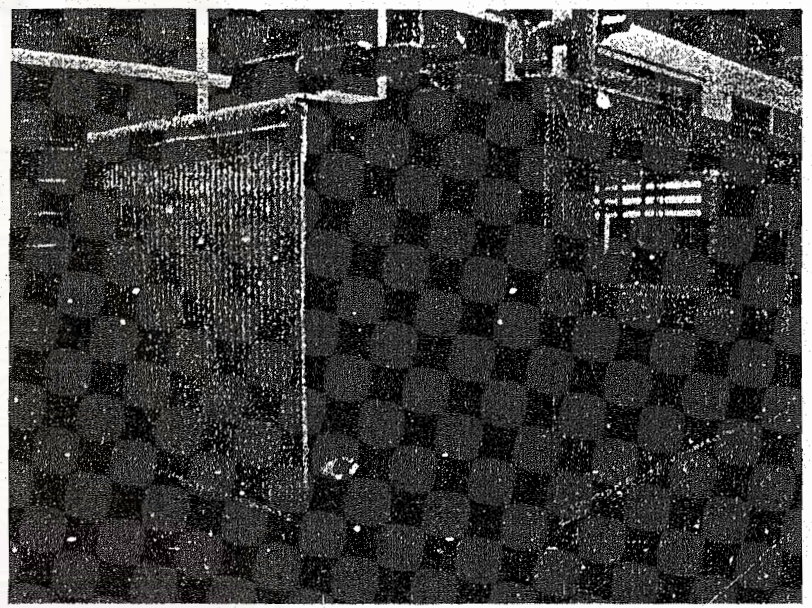
4. หลอดวัดระดับความดันน้ำ (piezometer) ติดตั้งภายนอกแบบจำลองโดยผ่านสายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร เข้าไปทางด้านล่างของแบบจำลองที่เจาะรูไว้ มีทั้งสิ้น 39 จุด

5. ฝายทดน้ำ ใช้สำหรับกำหนดระดับน้ำใต้ดิน

6. ฝายวัดอัตราการไหล ติดตั้งในถังวัดอัตราการไหล โดยใช้ทั้งฝายสามเหลี่ยมและฝายสี่เหลี่ยม

7. อุปกรณ์วัดอัตราการไหล ใช้แบบลูกลอย (rotameter)ที่วัดอัตราการไหลได้ในช่วง 0 ถึง 500 ลิตรต่อนาที โดยที่การควบคุมการทำงานและการเก็บบันทึกข้อมูลต้องทำด้วยมือ (manual)



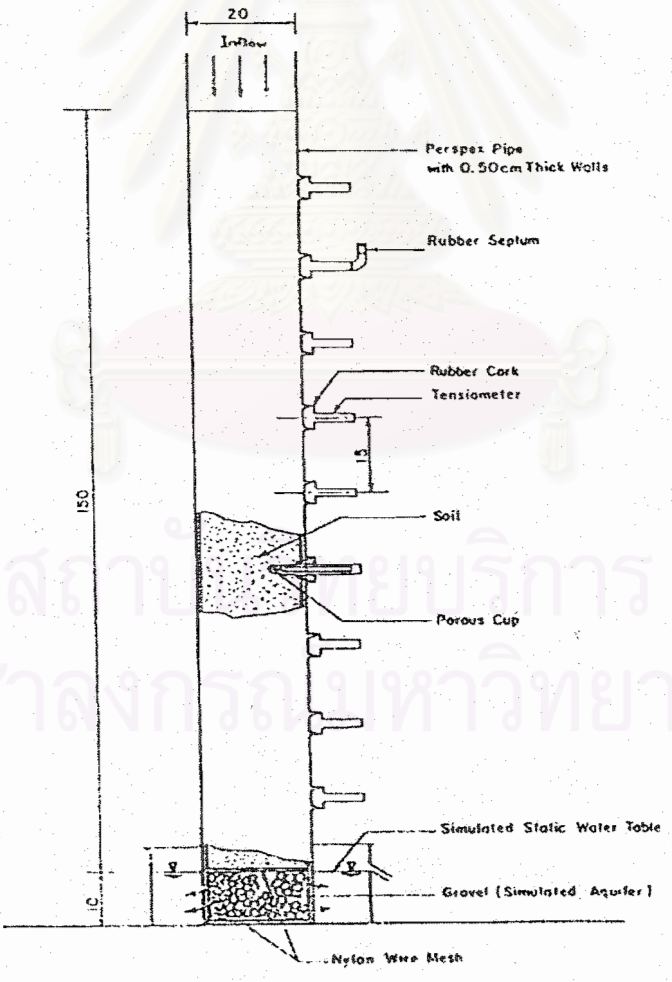


รูปที่ ข-6 ภาพแสดงแบบจำลองชั้นน้ำเปิดของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (A.I.T.) ได้สร้างเครื่องมือเพื่อศึกษาผลของชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (unsaturated zone) ต่อการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำแบบเปิด (unconfined aquifer) โดยการไหลในแบบจำลองเป็นการไหลในมิติเดียว (One – dimensional flow) ลักษณะของอุปกรณ์ทดลองแสดงในรูที่ ข-7 ส่วนประกอบต่างๆมีดังนี้

1. Soil column ทำการบรรจุดินและกรวดลงในท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร ยาว 2 เมตร เสมือนกับดินในชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำและชั้นน้ำ (aquifer) ตามลำดับ
2. Tensiometer ใช้สำหรับวัดความชื้นในดิน มีทั้งหมด 9 ตัว
3. Inflow control system ระบบส่งน้ำให้แก่ระบบมี 2 แบบ ได้แก่ กรณีระดับน้ำขังคงที่และอัตราการเติมคงที่ ควบคุมได้โดย Mariotte bottle
4. ระบบควบคุมระดับน้ำใต้ดิน ใช้ over flow pipe



รูปที่ ข-7 ภาพแสดงแบบจำลองของ AIT

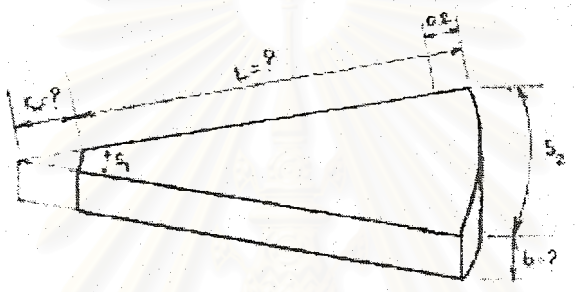
ภาคผนวก ค

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค
รายการคำนวณการออกแบบแบบจำลองการไหลในแนวรัศมี

1. การออกแบบขนาดของแบบจำลอง

ชั้นน้ำ (aquifer) : ทำเป็นส่วนหนึ่งของวงกลม (sector) โดยให้มีมุม ความยาว ความหนา ดังรูปที่ ค-1 โดยให้เหมาะสมกับข้อจำกัด ดังนี้



รูปที่ ค-1 มิติของแบบจำลองชั้นน้ำกรณีการไหลในแนวรัศมีที่จะต้องออกแบบ

1. ความยาวของ model ต้องไม่เกิน 2 m เนื่องจากการบรรจุทรายใน model จะต้องตั้ง model ขึ้น แต่ความสูงของเครนในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์มีความสูงแค่เพียง 2.3 เมตร

นั่นคือ $L \leq 2\ m$ ---- (1)

2. $R_{e,max} = 170$: V_{max} at well face $= \dfrac{R_e \nu}{D_{10,min\ aquifer}}$

เนื่องจาก $D_{10,min\ aquifer} = 0.27\ mm$

$$\therefore V_{max} = \frac{170 \times (1 \times 10^{-6})}{(0.27 \times 10^{-3})} = 0.63\ m/s$$

$$\text{แต่ } V_{max} = \frac{Q_{max}}{A} = \frac{Q_{max}}{A_p \times 2\pi r_w \times b \times \frac{\theta}{360}}$$

เนื่องจาก screen ที่ใช้เป็นพวก Perforated Metallic Screen ที่มี $A_p \approx 0.2$

$$\therefore 0.63 = \frac{0.0025}{0.2 \times 2\pi r_w \times b \times \frac{\theta}{360}}$$

นั่นคือ $r_w \times b \times \theta = 1.14$ ----(2)

3. $S_1 \geq 0.1$ m เพื่อลดผลของ model scale effect

นั่นคือ $$S_1 = 2\pi r_w\left(\frac{\theta}{360}\right) \geq 0.1 \qquad \text{----(3)}$$

4. $$S_2 = 2\pi(r_w + L)\left(\frac{\theta}{360}\right) \approx 1.0 \qquad \text{----(4)}$$

พิจารณา ข้อจำกัดที่ 1 เพื่อจะจำลองสภาพการไหลให้ใกล้ที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ ดังนั้น ใช้ $L = 2$ m

พิจารณา ข้อจำกัดที่ 4 ถ้า $L = 2$ m ดังนั้น

$$S_2 = 2\pi(r_w + 2)\left(\frac{\theta}{360}\right) \approx 1.0 \qquad \text{---- (5)}$$

เหลือตัวแปรที่ต้องพิจารณา ได้แก่ r_w , b และ θ

Trial 1 $r_w = 7'' \approx 0.175$ m และ $\theta = 30^\circ$

Eq. (2) ; $$b = \frac{1.14}{30 \times 0.175} = 0.22 \text{ m}$$

Eq. (3) ; $$S_1 = 2\pi \times 0.175 \times \frac{30}{360} = 0.092 < 0.1 \text{ m}$$ N.OK

Eq. (5) ; $$S_2 = 2\pi(0.175 + 2)\left(\frac{30}{360}\right) = 1.14 \approx 1.0$$ O.K.

Trial 2 $r_w = 8'' \approx 0.20$ m

Eq. (2) ; $$b = \frac{1.14}{30 \times 0.2} = 0.19 \text{ m}$$

Eq. (3) ; $$S_1 = 2\pi \times 0.2 \times \frac{30}{360} = 0.105 > 0.1 \text{ m}$$ O.K.

Eq. (5) ; $$S_2 = 2\pi(0.2 + 2)\left(\frac{30}{360}\right) = 1.15 \approx 1.0$$ O.K.

ดังนั้น model จะมีขนาดดังนี้

$r_w = 8''$
$\theta = 30^\circ$
$L = 2$ m

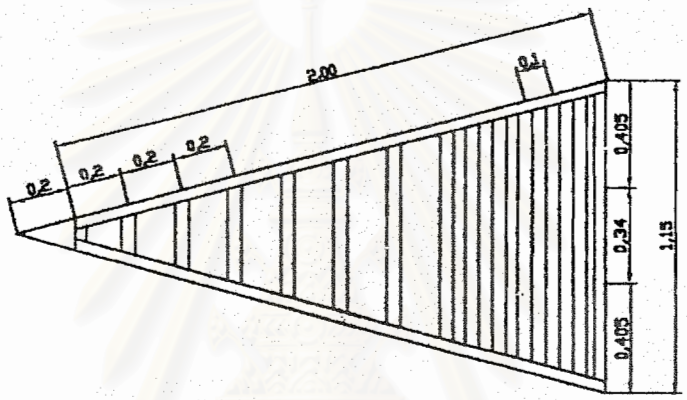
} ขนาดของบ่อน้ำบาดาลและชั้นนำที่จะใช้ในการทดลอง

$b = 0.2$ m

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. ตัวอย่างการออกแบบขนาดเหล็กโครงสร้าง

ถ้าทำการเสริมคานเหล็กรัดรอบตัวแบบจำลอง ตามระยะต่างๆดังรูปที่ ค-2 และทำการวิเคราะห์โครงสร้างโดยวิธี Column Analogy โดยแรงดันที่กระทำกับโครงสร้างลดลงตามลักษณะของโค้งน้ำลด (ในกรณีวิกฤตที่สุดที่จะเกิดขึ้นในการทดลองคือ กรณีที่ระดับความดันด้านบ่อบาดาลเท่ากับ 60 mH_2O และระดับความดันด้านท้ายเท่ากับ 30 mH_2O) จะเกิดโมเมนต์ที่ระยะต่างๆจากศูนย์กลางบ่อบาดาลและ Stiffnessของคานเหล็กที่ต้องการเพื่อรองรับโมเมนต์ดังกล่าว แสดงในตารางที่ ค-1

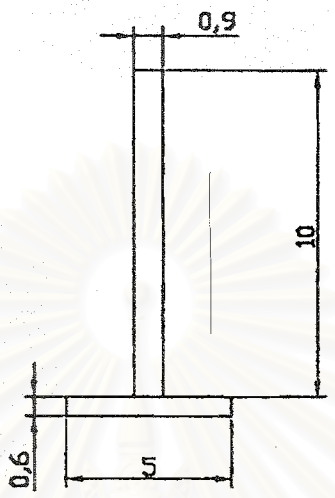


รูปที่ ค-2 ตำแหน่งการเสริมคานเหล็กรัดรอบตัวแบบจำลองการไหลในแนวรัศมี

ตารางที่ ค-1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างเหล็ก

ระยะจากศูนย์กลางบ่อบาดาล(ม.)	ระดับความดัน(เมตรของน้ำ)	โมเมนต์(กก.-ม.)	Stiffness(cm^2)
2.20	30.03	277.48	18.50
2.10	30.61	256.11	17.07
2.00	31.22	235.33	15.69
1.90	31.86	215.17	14.34
1.80	32.53	195.67	13.04
1.70	33.25	176.85	11.79
1.60	34.01	317.52	21.17
1.40	35.68	249.84	16.66
1.20	37.60	189.00	12.60
1.00	39.88	135.86	9.06
0.80	42.67	91.49	6.10
0.60	46.27	57.32	3.82
0.40	51.34	35.47	2.36
0.40	54.93	30.26	2.02
0.20	60.00	30.01	2.00

หน้าตัดคานที่ทำการออกแบบ มีหน้าตัดดังรูปที่ ค-3 มีstiffness เท่ากับ 21.86 cm^2 ซึ่งมากกว่า stiffness ที่ต้องการจากการวิเคราะห์



รูปที่ ค-3 หน้าตัดคานที่ทำการออกแบบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง
รายการคำนวณการออกแบบเครื่องสูบน้ำ
และรายละเอียดของเครื่องสูบน้ำ

1. การออกแบบเครื่องสูบน้ำ

เงื่อนไขในการออกแบบเครื่องสูบน้ำ เพื่อให้สอดคล้องกับค่าที่ใช้จริงในภาคสนาม มีดังนี้

1. pressure head (H) : 0 – 50 m. of water
2. Reynolds number (R_e) : 0 – 120
3. discharge (Q) : 0 – 0.0025 m^3/s (150 l/min) เพื่อให้สอดคล้อง R_e

จาก H_{max} & Q_{max} นำไปเปิดแผนภาพการเลือกชนิดเครื่องสูบน้ำ ควรใช้เครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง กรณีใช้มอเตอร์ไฟฟ้า 50 Hz 3 เฟส 2 ขั้ว เป็นต้นกำลัง

$$N \approx 0.97(120\frac{f}{p}) = 0.97 \times 120 \times \frac{50}{2} = 2900 \text{ rpm}$$

$$N_S \text{ (specificspeed)} = \frac{N\sqrt{Q}}{H^{3/4}} = \frac{2900\sqrt{0.0025 \times 60}}{(50)^{3/4}} = 60$$

กำลังจากเพลาขับ (L_p) $= 0.163\ rQH/e_p$ assume $e_p = 0.7$

$$= 0.163 \times 1 \times (0.0025 \times 60) \times \frac{50}{0.7}$$

$$= 1.75 \text{ kw}$$

กำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้า (L_d) $= L_p(1 + \alpha)/e_t$ assume $e_t = 1$

$$= 1.75\ (1+0.2)/1$$

$$= 2.1 \text{ kw} = 2.8 \text{ H.P.}$$

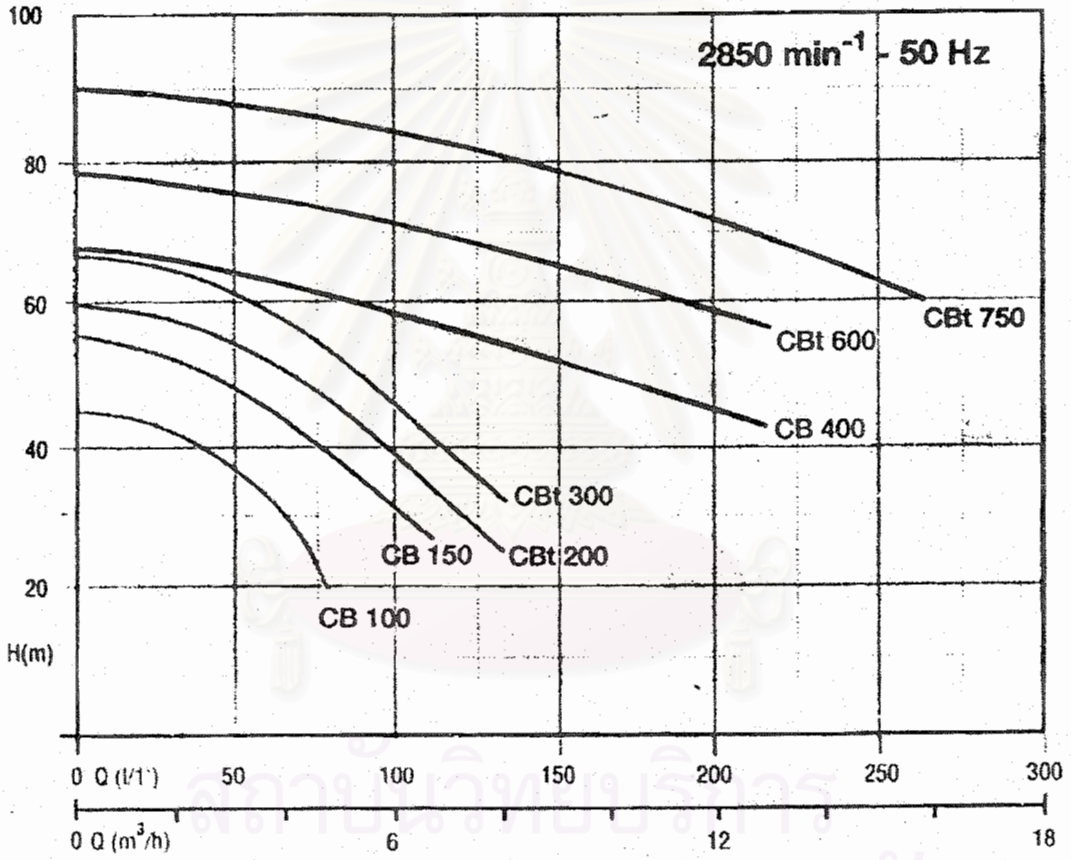
ขนาดท่อดูด $\approx 0.1\sqrt{Q} = 0.1\sqrt{0.0025 \times 60} = 0.039$ m ≈ 0.04 m

ดังนั้นต้องการเครื่องสูบน้ำ 0.15 m^3/min x 50 m x 2900 rpm x 2.1 kw แต่ในกรณีที่มีการติดตั้งเครื่องปรับความเร็วรอบมอเตอร์เพิ่มเติม ค่าอัตราการไหลและเฮดที่ได้จากเครื่องสูบน้ำจะเปลี่ยนไปดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 2

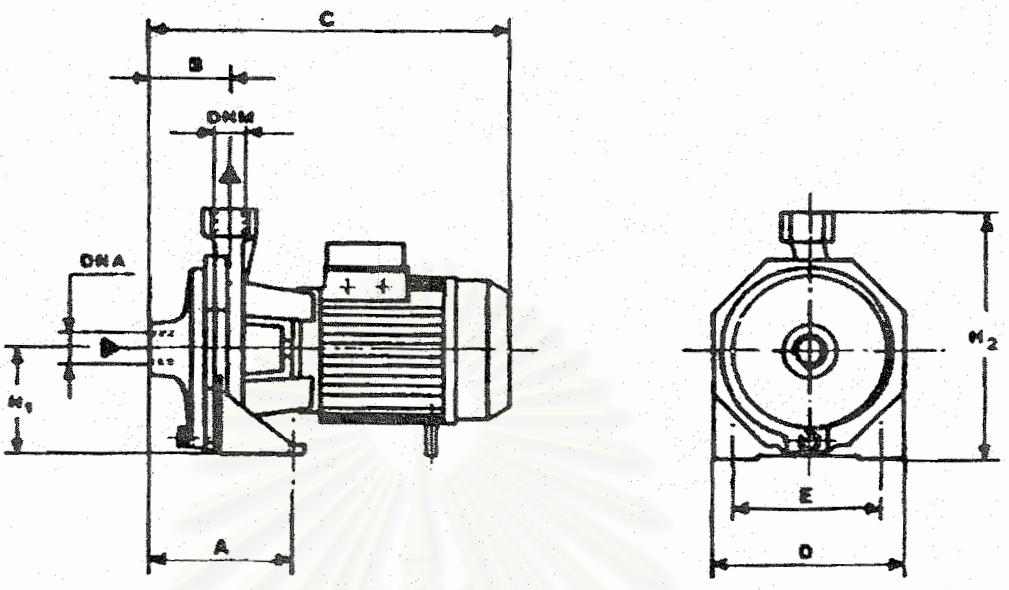
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. เครื่องสูบน้ำที่เลือกใช้

ใช้เครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง (centrifugral pump) ยี่ห้อ " PENTAX " รุ่น CB 400 ที่สามารถให้เฮดด้านส่งสูงสุดเท่ากับ 50 เมตรของน้ำ และอัตราการไหลสูงสุดเท่ากับ 150 ลิตรต่อนาที ที่ความเร็วรอบ 2850 รอบต่อนาที ขับเคลื่อนโดยมอเตอร์ไฟฟ้า ขนาด 3 กิโลวัตต์ (4 แรงม้า) ใช้ไฟ 380 โวลต์ 3 เฟส 50 H_z มีโค้งสมรรถภาพ (characteristic curve) แสดงในรูปที่ ง-1 และมีมิติแสดงในรูปที่ ง-2



รูปที่ ง-1 โค้งสมรรถภาพของเครื่องสูบน้ำ "PENTAX" รุ่น CB400



TIPO TYPE	Dimensioni mm Dimensions mm Dimensions mm Massabolle mm Dimensiones mm									Dimensioni imballo mm Dimensions d'emballage mm Packing dimensions mm Verpackungmasse mm Dimensiones embalaje mm			Peso Poids Weight Gewich Peso
	A	B	C	D	E	H1	H2	DNA	DNM	I	L	M	Kg
CB 100	122	73	328	180	140	98	228	1"G	1"G	350	195	265	15.3
CB 150	141	83	385	210	170	115	264	1"1/4G	1"G	405	225	295	24
CB 200	141	83	385	210	170	115	264	1"1/4G	1"G	405	225	295	23.4
CB 300	141	83	385	210	170	115	264	1"1/4G	1"G	405	225	295	23.4
CB 400	145	95.5	463	266	212	135	305	1"1/2G	1"1/4G	500	275	350	41
CBt 600	145	95.5	463	266	212	135	305	1"1/2G	1"1/4G	500	275	350	44.8
CBt 750	145	95.5	480	266	212	135	305	1"1/2G	1"1/4G	500	275	350	50.5
CBt 800	190	120	605	275	210	150	330	2"G	1"1/4G	640	310	370	70.5
CBt 1000	190	120	605	275	210	150	330	2"G	1"1/4G	640	310	370	77
CBt 1250	190	120	645	275	210	150	330	2"G	1"1/4G	640	310	370	85
CBt 1500	190	120	645	275	210	150	330	2"G	1"1/4G	640	310	370	92

รูปที่ ง-2 มิติของเครื่องสูบน้ำ "PENTAX" รุ่น CB400

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ
รายละเอียดของฝายวัดอัตราการไหล

1. การออกแบบฝายวัดอัตราการไหล

เนื่องจากอัตราการไหลสูงสุดในการใช้งานชุดเครื่องมือ เท่ากับ 0.0036 ลบ.ม.ต่อวินาที จึงออกแบบฝายวัดอัตราการไหลเป็นฝายสี่เหลี่ยมสันคม ความกว้างสันฝาย 2 เซนติเมตร เพื่อให้สามารถอ่านค่าระดับน้ำเหนือสันฝายได้ละเอียด คำนวณหาความสูงของช่องเปิดจากสมการฝายวัดอัตราการไหลสี่เหลี่ยมสันคม ดังนี้

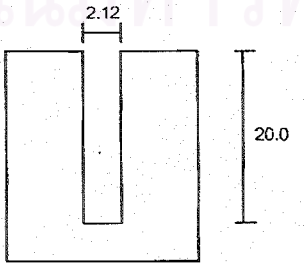
$$Q = \frac{2}{3} c_d \sqrt{2g} B H^{3/2} \geq 0.0036$$

หรือ $$H \geq \left[\left(\frac{3}{2} \right) \frac{Q}{c_d \sqrt{2g} B} \right]^{2/3}$$

สมมุติ $c_d = 0.7$

ดังนั้น $$H \geq \left[\left(\frac{3}{2} \right) \frac{0.0036}{0.7\sqrt{2 \times 9.81}(0.02)} \right]^{2/3} = 0.196 \text{m}$$

เลือกความสูงช่องเปิดเท่ากับ 20 เซนติเมตร แต่เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนในการตัดแผ่นสแตนเลสที่ใช้ทำฝายวัดอัตราการไหล ทำให้ความกว้างสันฝาย(B)จริง มีค่าเท่ากับ 2.12 เซนติเมตร รูปร่างของฝายวัดอัตราการไหลจึงเป็นดังรูปที่ จ-1



รูปที่ จ-1 รูปร่างของฝายวัดอัตราการไหล

2. สมการฝายวัดอัตราการไหล

จากการสอบเทียบฝายวัดอัตราการไหล ได้ c_d= 0.64 และสมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและระดับน้ำเหนือสันฝาย ดังนี้

$$Q = 0.040064H^{3/2}$$

เมื่อ H คือ ระดับน้ำเหนือสันฝาย สามารถอ่านได้โดยตรงจากหลอดวัดระดับน้ำที่ติดอยู่ด้านข้างรางวัดอัตราการไหล หรือคำนวณจากเฮดที่อ่านได้จากเซนเซอร์วัดความดันที่ติดตั้งไว้หน้าฝายวัดอัตราการไหล(P_{16}) ตามสูตร $H = \frac{P_{16} - 70}{1000}$ เมื่อ P_{16} คือ เฮดน้ำที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดความดันและ 70 คือระดับของสันฝายเหนือจุดวัดเฮดของเซนเซอร์วัดความดัน(หน่วย : มม.)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

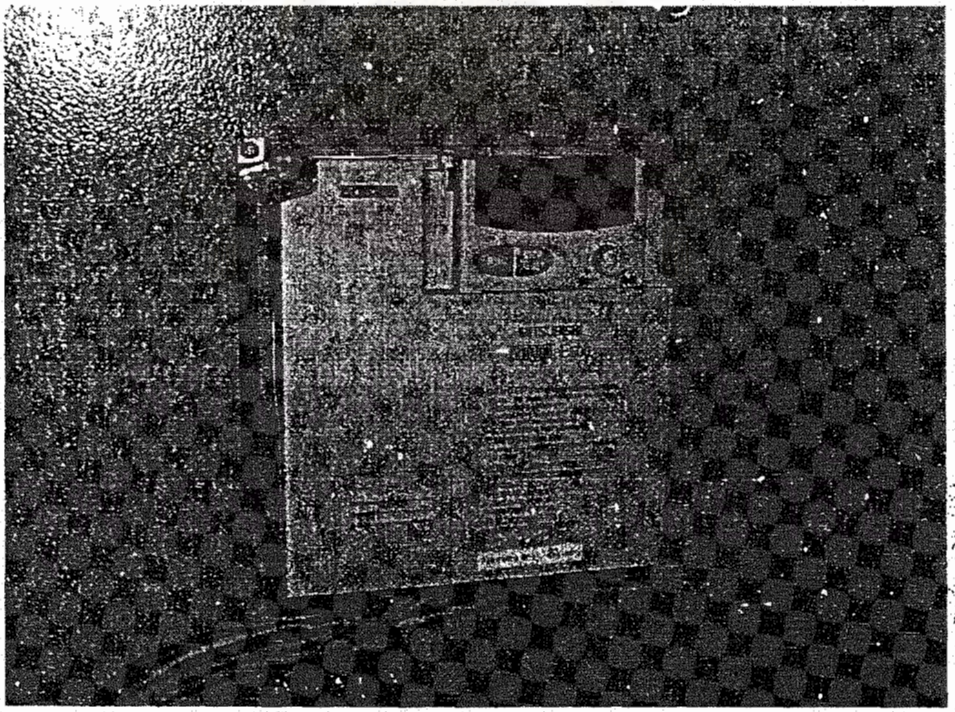
ภาคผนวก ฉ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ฉ
รายละเอียดของตัวปรับความเร็วรอบมอเตอร์

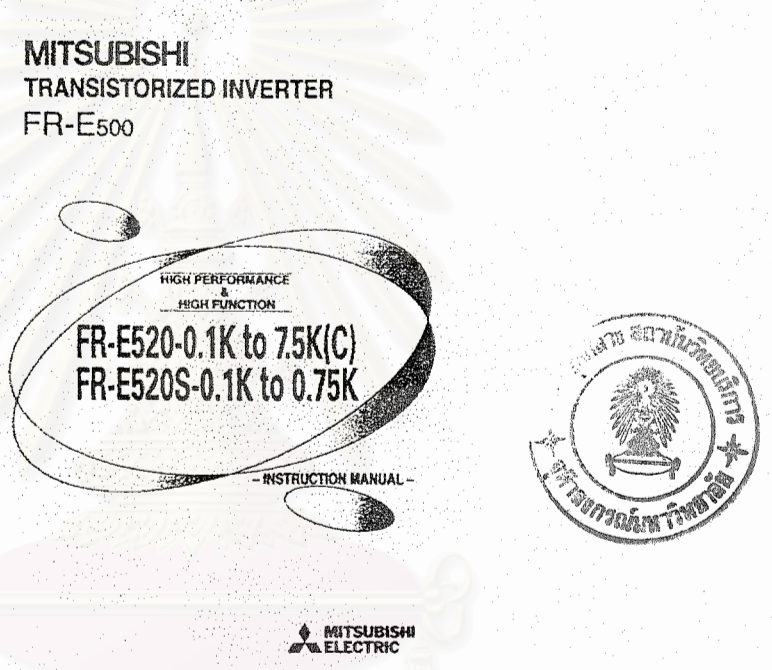
เนื่องจากเครื่องสูบน้ำที่เลือกใช้ ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 3 กิโลวัตต์ ใช้ไฟ 380 โวลต์ 3 เฟส 50 Hz ดังนั้นการเลือกใช้ตัวปรับความเร็วรอบมอเตอร์จะต้องสอดคล้องกัน จึงใช้ตัวปรับความเร็วรอบมอเตอร์ ยี่ห้อ " Mitsubishi " รุ่น FR-E540-3.7 K ชนิด 3 เฟส ขนาด 3.7 กิโลวัตต์ มีลักษณะดังรูปที่ ฉ-1 สามารถปรับความเร็วรอบมอเตอร์(N)หรือความถี่ของการหมุนของมอเตอร์(f) ได้ตั้งแต่ 0 ถึง 400 Hz ซึ่งค่าสูงสุดสามารถตั้งได้ตามต้องการ แต่ในเบื้องต้นตั้งไว้ที่ 60 Hz และเนื่องจากมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้เป็นชนิด 3 เฟส 2 ขั้ว(p=2) สามารถเปลี่ยนความถี่ของการหมุนเป็นความเร็วรอบได้ดังนี้

$$N \approx 0.97(120 \times \frac{f}{p}) = 0.97(120 \times \frac{f}{2}) = 58f$$



รูปที่ ฉ-1 ลักษณะของตัวปรับความเร็วรอบมอเตอร์

ตัวปรับความเร็วรอบมอเตอร์ติดตั้งอยู่ในตู้ควบคุม โดยใช้สวิตซ์ปิด-เปิดเดียวกับเครื่องสูบน้ำ การปรับความเร็วรอบทำโดยการหมุนปุ่มปรับความเร็วรอบด้วยมือแล้วเครื่องจะแสดงความถี่ของการหมุนของมอเตอร์ ออกทางจอภาพของเครื่อง โดยวิธีการตั้งค่าและวิธีการใช้งานอย่างละเอียด สามารถดูได้จากคู่มือการใช้งานตัวปรับความเร็วรอบมอเตอร์ ยี่ห้อ " Mitsubishi " รุ่น FR-E540-3.7 K ซึ่งมีหน้าปก ดังรูปที่ ฉ-2



รูปที่ ฉ-2 หน้าปกของคู่มือการใช้งานตัวปรับความเร็วรอบมอเตอร์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ซ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ช
รายละเอียดของเครื่อง data logger

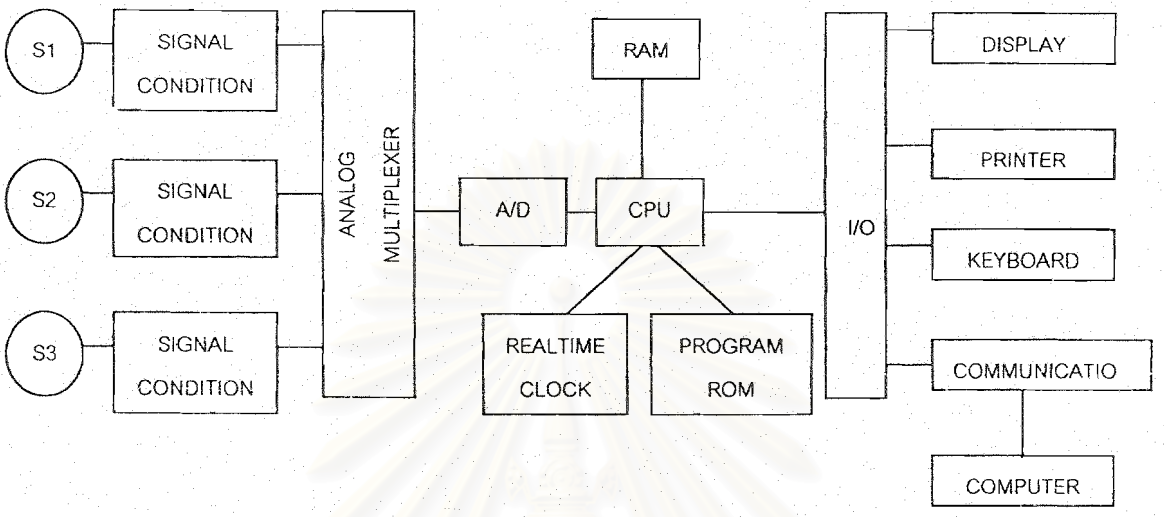
1. หลักการทำงานของเครื่อง data logger

data logger เป็นเครื่องวัดและบันทึกข้อมูลที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม และใช้ในการวัดค่าต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ความดัน การไหล ระดับน้ำ ค่าแรงดันการไหล กระแสไฟฟ้า เป็นต้น เครื่อง data logger สามารถวัดได้หลายจุดพร้อมๆ กัน โดยแต่ละจุดวัดเป็นปริมาณที่ต่างกัน และจะเก็บบันทึกค่าวัดได้ไว้ในหน่วยความจำ แสดงผลการวัดของแต่ละช่องวัดโดยใช้จอแสดงผลหรือพิมพ์ออกทางเครื่องพิมพ์ก็ได้ เมื่อต่อกับคอมพิวเตอร์ ส่งข้อมูลการวัดให้คอมพิวเตอร์ และใช้ซอฟต์แวร์แสดงผลการวัดบนจอภาพก็จะได้เป็นระบบวัดและบันทึกข้อมูลที่เรียกว่า Supervisory Control and Data Acquisition System (SCADA)

data logger จะมีคุณสมบัติของเครื่องวัดหลายจุด ดังนี้

- มีจำนวนช่วงการวัดหลายจุด เช่น 8 จุด 16 จุด หรือมากกว่า 100 จุด
- รับสัญญาณการวัดจากเซนเซอร์ได้หลายชนิด เช่น วัดอุณหภูมิ โดยเทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิโดย RTD (Resistive Thermodevice) วัดความดันโดย strain gauge เป็นต้น
- สามารถกำหนดช่วงเวลาระหว่างการวัด เช่น วัดสัญญาณทุกๆ 0.5 วินาที เป็นต้น ช่วงเวลาการวัดนี้สามารถปรับได้ตามความต้องการ (sampling rate)
- บันทึกค่าวัดจากช่องสัญญาณไว้ในหน่วยความจำภายใน จำนวนการบันทึกจะขึ้นอยู่กับขนาดของหน่วยความจำที่มี เช่น หน่วยความจำขนาด 16 K Byte สามารถเก็บข้อมูลได้ 8,000 ค่า ถ้าสุ่มวัดทุกๆ 1 วินาทีต่อช่อง จำนวน 8 ช่อง จะเก็บข้อมูลการวัดได้นานถึง 1,000 นาที หรือ 16.6 ช.ม.
- แสดงผลการวัดสัญญาณที่ช่วงต่างๆ ที่หน้าปัทม์แสดงผล เช่น หลอดตัวเลข LED (Light Emitting Dipole) หรือแผง LCD (Liquid Crystal Display) โดยสามารถเลือกช่วงที่จะแสดงผลได้ และหน่วยของค่าแสดงสามารถปรับชนิดที่ต้องการได้
- แสดงผลการวัดสัญญาณที่ช่วงต่างๆ ออกทางเครื่องพิมพ์ โดยสามารถกำหนดช่วงเวลาการพิมพ์ได้ เช่น ทุกๆ 10 นาที ให้พิมพ์ค่าวัด 1 ชุด เป็นต้น
- สามารถส่งข้อมูลการวัดออกทางท่อสื่อสารไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ การส่งข้อมูลอาจจะส่งออกไปทุกครั้งที่มีการวัด (on-line mode) หรือส่งข้อมูลในหน่วยความจำออกไปเป็นชุด (batch mode)

เครื่อง data logger จะมีบล็อกไดอะแกรมดังแสดงในรูปที่ ช-1



รูปที่ ช-1 บล็อกไดอะแกรมของ data logger

data logger ที่มีช่องสัญญาณจำนวน n ช่อง จะมีขั้วสำหรับต่อหัววัด หรือเซนเซอร์สำหรับวัดปริมาณจำนวน n ตัว สัญญาณวัดจากเซนเซอร์จะมีขนาดเล็กและยังไม่เป็นมาตรฐาน จึงต้องผ่านวงจรปรับขนาดสัญญาณที่เป็น signal conditioner ก่อน วงจรส่วนนี้จะแตกต่างกันตามชนิดของเซนเซอร์ เมื่อได้สัญญาณ V_{in} ซึ่งเป็นสัญญาณขนาดมาตรฐาน ที่จะป้อนเข้าสู่วงจร A/D เพื่อแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลต่อไป สัญญาณเข้าหลายสัญญาณ V_{in-1} V_{in-2} V_{in-3} ...V_{in-n} จะต่อผ่าน analog multiplexer ซึ่งเป็นวงจรมัลติเพลคสัญญาณเข้า ต่อสัญญาณเข้ากับสัญญาณเข้าไปสู่วงจร A/D อีกทีหนึ่ง เมื่อสัญญาณถูกแปลงเป็นดิจิตอลที่วงจร A/D จะได้ข้อมูลที่พร้อมสำหรับการประมวลผลโดย CPU ความแม่นยำในการวัดข้อมูลของ data logger จะขึ้นอยู่กับวงจรในภาคแรกนี้ คือ signal conditioner และ A/D มีจำนวนบิทมากเท่าใด เช่น 10 bit 12 bit หรือ 16 bit จำนวนบิตยิ่งมากจะเพิ่ม resolution ของค่าวัดมากยิ่งขึ้น

เมื่อ CPU อ่านข้อมูลค่าวัดจากวงจร A/D จะเก็บค่าวัดใส่ใน data Ram ซึ่งเป็นหน่วยความจำภายใน ก่อนเก็บจะทำการคำนวณเพื่อแปลงหน่วยของค่าวัดให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสม วงจร real time clock จะสร้างสัญญาณฐานเวลาเพื่อให้ CPU สามารถกำหนดช่วงเวลาในการสแกนอ่านจากหัววัด ช่วงเวลาในการแสดงผลข้อมูลการวัดออกที่แผงแสดงผล (display) และช่วงเวลาในการส่งข้อมูลการวัดออกทางเครื่องพิมพ์ด้วย

โปรแกรมควบคุมใน program ROM จะเป็นโปรแกรมสำหรับคบคุมการทำงานของ CPU เพื่อให้ทำงานเป็น data logger การรับคำสั่งจากผู้ใช้จะผ่านทางแป้นกดป้อนข้อมูล (key board) เพื่อใช้เลือกโหมดการทำงานและป้อนค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นสำหรับระบบ

การส่งข้อมูลออกไปยังคอมพิวเตอร์จะส่งผ่านวงจรสื่อสาร (communication) ซึ่งเป็นวงจรตามมาตรฐานต่างๆ เช่น RS-232C RS-422 SEEE488 UBB เป็นต้น มาตรฐานต่างๆ จะกำหนดรูปแบบการส่งและความเร็วในการส่งข้อมูลแตกต่างกัน ซอฟต์แวร์บนเครื่องคอมพิวเตอร์จะต้องมีโปรแกรม driver เพื่อสามารถสื่อสารกัน data logger ทำให้ข้อมูลที่รับส่งถูกต้อง

2. เครื่อง data logger ที่สร้างใช้ในโครงการ

ข้อมูลทางเทคนิคของ data logger ที่สร้างเพื่อใช้ในการวัดความดันน้ำและบันทึกข้อมูล มีดังนี้

2.1 คุณสมบัติทางด้านเทคนิคของเครื่อง Data Logger

- วัดได้ 16 ช่องสัญญาณ (channel) ช่องสัญญาณละ 10 บิท (bit)
- ความแม่นยำในการวัด (accuracy) 0.1 % ของค่าเต็มสเกล (full scale)
- อัตราในการเก็บข้อมูล (sampling rate) เลือกได้ตั้งแต่ 1 วินาที ถึง 45 นาที
- มีความจุหน่วยความจำ (memory capacity) 6721 ชุด (39 ไบต์ ต่อชุด) ถ้าอัตราในการเก็บข้อมูลเท่ากับ 3 วินาที จะเก็บข้อมูลได้ประมาณ 5 ชั่วโมงครึ่ง
- ค่าแรงดันที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย (average value)
- การติดต่อระหว่างเครื่อง data logger กับคอมพิวเตอร์ ใช้ RS-232 ที่ความเร็ว 9600 bps , 8 bit , No parity
- การส่งข้อมูลให้กับคอมพิวเตอร์มีทั้งแบบ real time และแบบ all memory load
- จอแสดงผลเป็นจอ LCD (Liquid Crystal Display) 16 character 2 แถว โดยแถวแรกแสดงค่าเวลา และแถวที่สองแสดงค่าแรงดันน้ำ
- ปุ่มกดมี 6 ปุ่ม ได้แก่ บน (Up) ล่าง (Down) ซ้าย (Left) ขวา (Right) ตกลง (O.K.) และออก (Esc.)
- สามารถบอกสถานะของ pressure sensorได้
- มีนาฬิกาในตัว (build in real time clock)

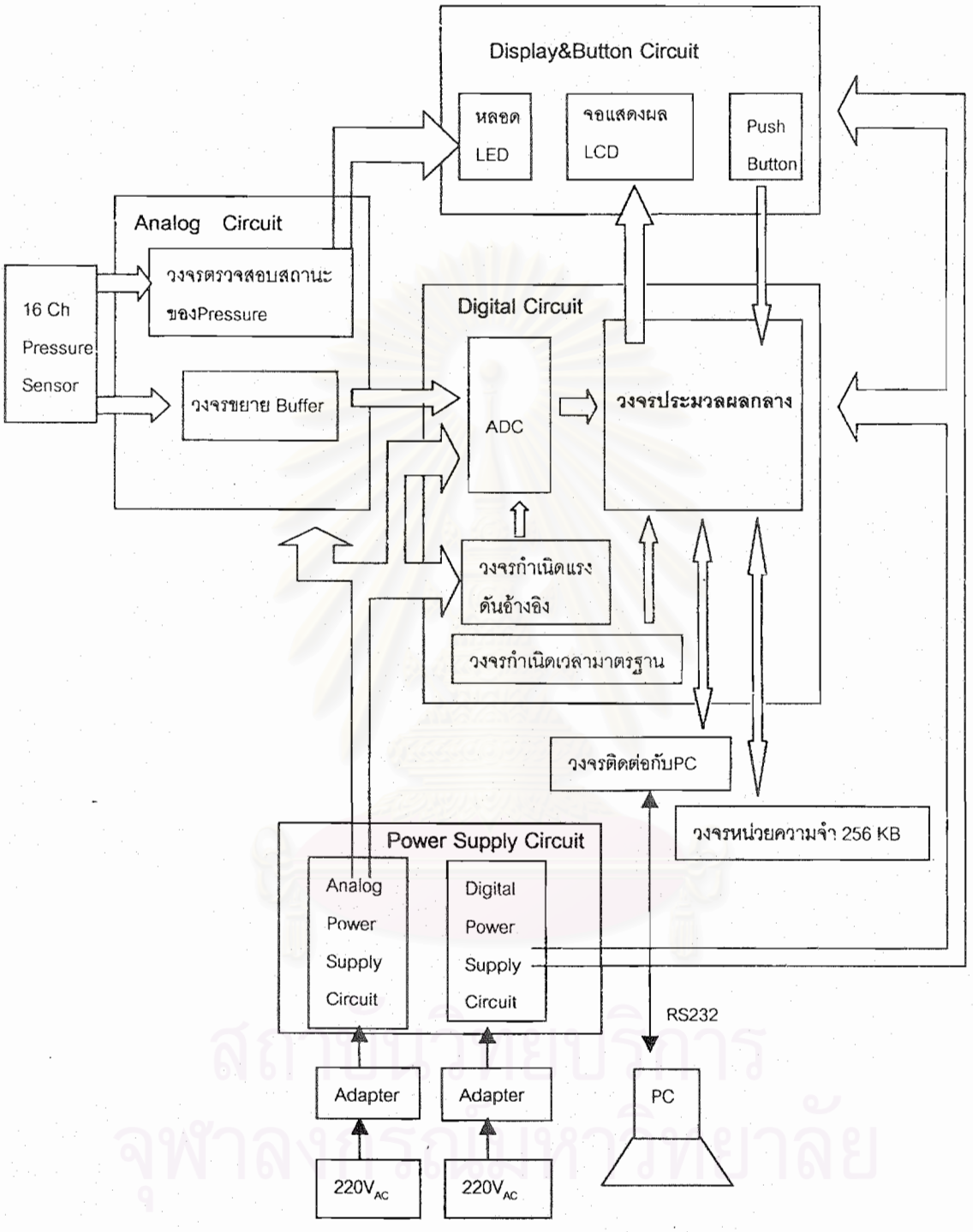
2.2 การทำงานของเครื่อง data logger

จาก block diagram ของเครื่อง data loggerในรูปที่ จ-2 สัญญาณที่วัดได้จาก pressure sensor จะแยกเป็น 2 ส่วน คือ ในส่วนแรกจะป้อนสัญญาณเข้าในส่วนของวงจรตรวจสอบสถานะภาพของ pressure sensor เพื่อส่งไปแสดงผลบนวงจร Display&Button Circuit โดยแสดงผลผ่านทาง LED (Light Emitting Diode) และอีกส่วนได้ผ่านวงจร Buffer เพื่อเป็นการป้องกันในส่วน ADC (Analog to Digital Converter) ไม่ให้เสียหายถ้าหากเกิดสัญญาณแปลกปลอมเข้ามาแทนสัญญาณปกติ

หลังจากผ่านวงจร Buffer แล้ว สัญญาณที่อยู่ในรูป analog จะผ่านส่วน ADC โดยอาศัยวงจรกำเนิดแรงดันอ้างอิงเป็นระดับอ้างอิง เพื่อให้สัญญาณอยู่ในรูป digital และส่งสัญญาณที่ได้ไปยังหน่วยประมวลผลกลาง (CPU) หน่วยประมวลผลกลางจะทำงานตามโปรแกรมที่บรรจุอยู่ภายใน โดยมีสัญญาณควบคุมจากปุ่มกดในวงจร Display&Button Circuit เพื่อควบคุมการทำงานให้เป็นไปตามที่ผู้ใช้ต้องการ และแสดงผลการทำงานผ่านทางจอ LCD

นอกจากการแสดงผลผ่านทางจอ LCD แล้ว ในการทำงานด้านการเก็บข้อมูลหน่วยประมวลผลกลางสามารถแสดงผลข้อมูลขณะที่เก็บบนจอคอมพิวเตอร์ และสามารถดึงข้อมูลที่เก็บในวงจรหน่วยความจำ (วงจร Memory) ทั้งหมดเพื่อไปแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์ได้อีกด้วย

สำหรับแหล่งจ่ายไฟสำหรับการทำงานของเครื่อง data logger ได้ถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ แหลงจ่ายไฟสำหรับวงจรภาค analog ซึ่งจ่ายที่แรงดัน 5 โวลต์ และ 9 โวลต์ สำหรับแหล่งจ่ายไฟสำหรับวงจรภาค digital ซึ่งจ่ายแรงดัน 5 โวลต์เพียงค่าเดียว โดยการแยกแหล่งจ่ายไฟให้แก่แต่ละภาคนั้น เพื่อป้องกันมิให้วงจรของแต่ละภาคเกิดการรบกวนกัน ซึ่งจะทำให้ค่าที่วัดได้มีความผิดพลาดเกิดขึ้น



รูปที่ ช-2 block diagramของเครื่อง data logger

การทำงานของแต่ละวงจรมีดังนี้

- วงจรขยาย Buffer

วงจรนี้เป็นวงจรรับสัญญาณวัดจาก pressure sensor มาขยายและส่งต่อให้วงจร ADC ต่อไป และยังทำหน้าที่ในการป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นแก่วงจร ADC ด้วย วงจรขยาย Buffer นี้ประกอบด้วย ไอซี OP-AMP เบอร์ LM324N ซึ่งภายใน ไอซี แต่ละตัวจะประกอบด้วย OP-AMP จำนวน 4 ตัว และนำแต่ละตัวมาต่อเป็นวงจร Voltage follower ตามวงจรในรูปที่ จ-3 จะพบว่าการที่มีช่องสัญญาณ 16 ช่อง ทำให้ต้องใช้ ไอซี จำนวน 4 ตัวพอดี

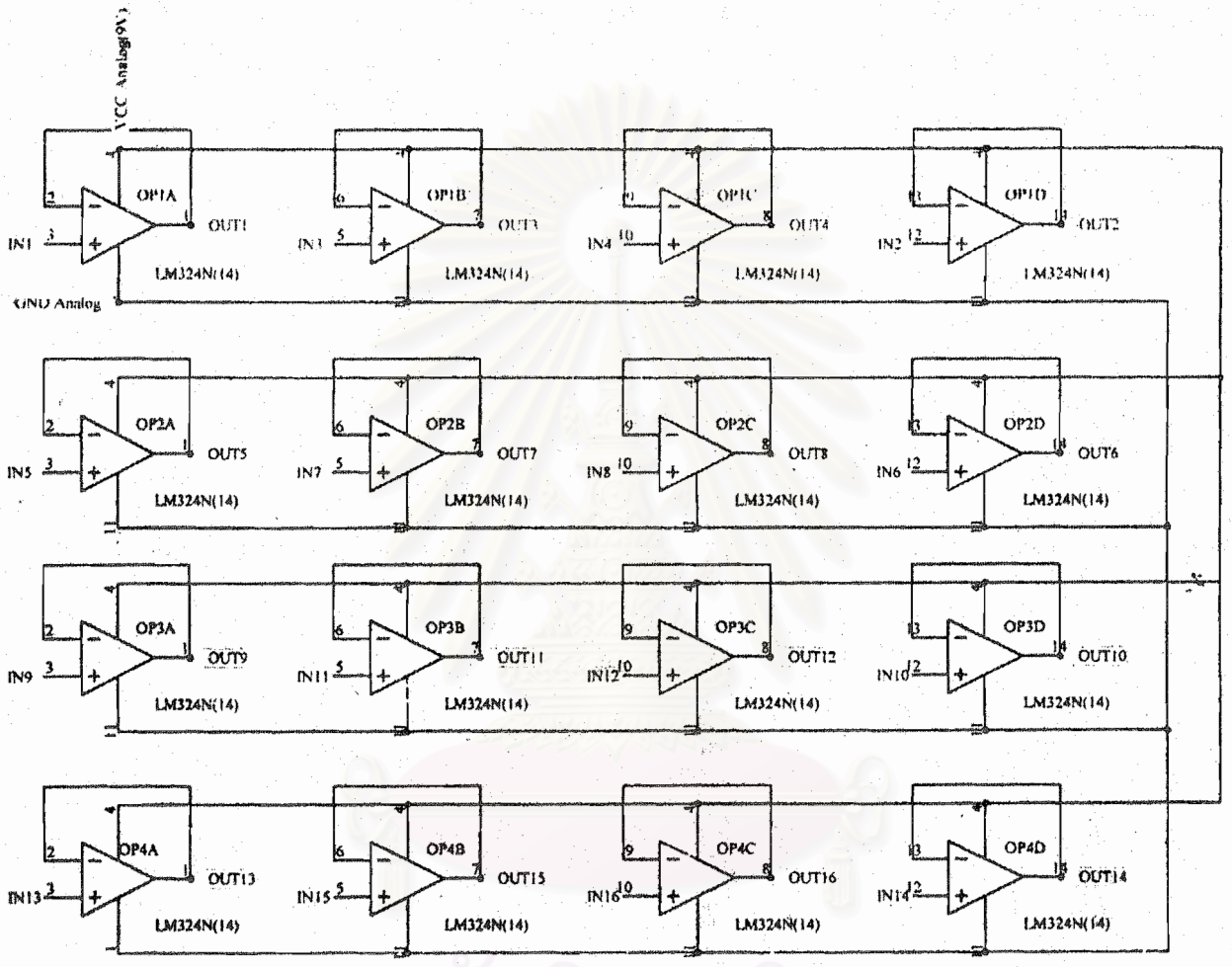
ในวงจรในรูปที่ ช-3 เป็นการต่อการทำงานแบบ Buffer โดยมีอัตราขยายเป็น 1 ซึ่งให้ค่า input จากสัญญาณของ pressure sensor ในแต่ละช่องเข้าที่ขา non-inverting และ feedback ระหว่างขา inverting และ output จากนั้นนำสัญญาณจากขา output นำไปเข้า ADC ต่อไป

- วงจรตรวจสอบสถานภาพของ pressure sensor

วงจรนี้ทำหน้าที่ในการตรวจสอบว่า pressure sensor หรือสายนำสัญญาณของ pressure sensor มาสู่เครื่องมือมีการชำรุดหรือไม่ โดยถ้าหากไม่มีสิ่งผิดปกติ ไฟ LED จะติด แต่ถ้าชำรุดไฟ LED ก็จะดับ

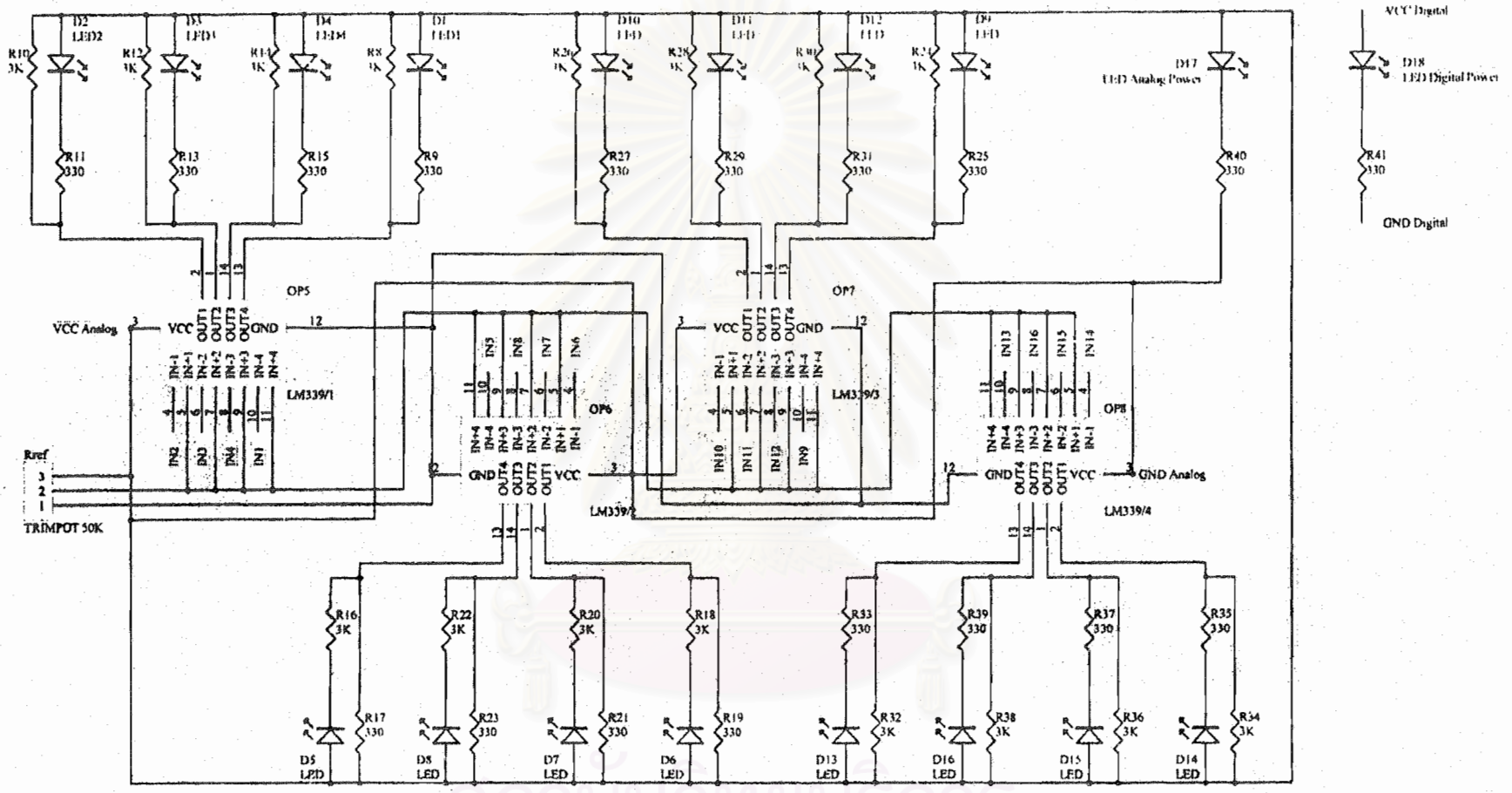
ในวงจรตามรูปที่ ช-4 นั้น พิจารณาที่ OP5 จะพบว่า ใช้ ไอซี OP-AMP COMPARATOR เบอร์ LM 339 ซึ่งภายในจะมี OP-AMP COMPARATOR 4 ตัว สำหรับการใช้งาน วงจรนี้ทำงานโดยอาศัยคุณสมบัติของ pressure sensor คือ เมื่อจ่ายแรงดันให้แก่ pressure sensor อย่างสมบูรณ์แล้ว pressure sensor จะให้สัญญาณแรงดันที่เกินกว่า 0.5 โวลต์ ดังนั้น ถ้าแรงดันต่ำกว่า 0.5 โวลต์ ก็แสดงว่า pressure sensor หรือสายนำสัญญาณอาจชำรุด ดังนั้นจากหลักการข้างต้นจึงอาศัยวงจรเปรียบเทียบตามวงจรรูปที่ ช-4

เมื่อปรับตัวต้านทานแปรค่าได้ TRIMPOT 50 K ให้ได้แรงดันที่ 2 ขามีค่าเท่ากับ 0.5 โวลต์ และป้อนให้แก่ขา Non-Inverting ของ ไอซี ถ้าสัญญาณ input ในขา inverting ของไอซีมีค่าน้อยกว่า 0.5 โวลต์ แรงดัน Output ของ OP-AMP ในแต่ละช่องจะเท่ากับ 5 โวลต์ ซึ่งส่งผลให้ไม่มีกระแสไหลผ่าน LED จึงทำให้ไฟ LEDดับ แต่เมื่อแรงดันของสัญญาณ Input มีค่ามากกว่า 0.5 โวลต์ จะทำให้ output ของ OP-AMP มีค่าเป็น 0 โวลต์ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดกระแสไหลผ่าน LED ทำให้ LED ติดสว่างขึ้นและกระแสที่ไหลผ่าน LED ถูกจำกัดโดย R11 (ของ CH2) และมี R10 ทำหน้าที่ pull-up แรงดัน



รูปที่ ช-3 วงจรขยาย Buffer

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ช-4 วงจรตรวจสอบสถานะ pressure sensor

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

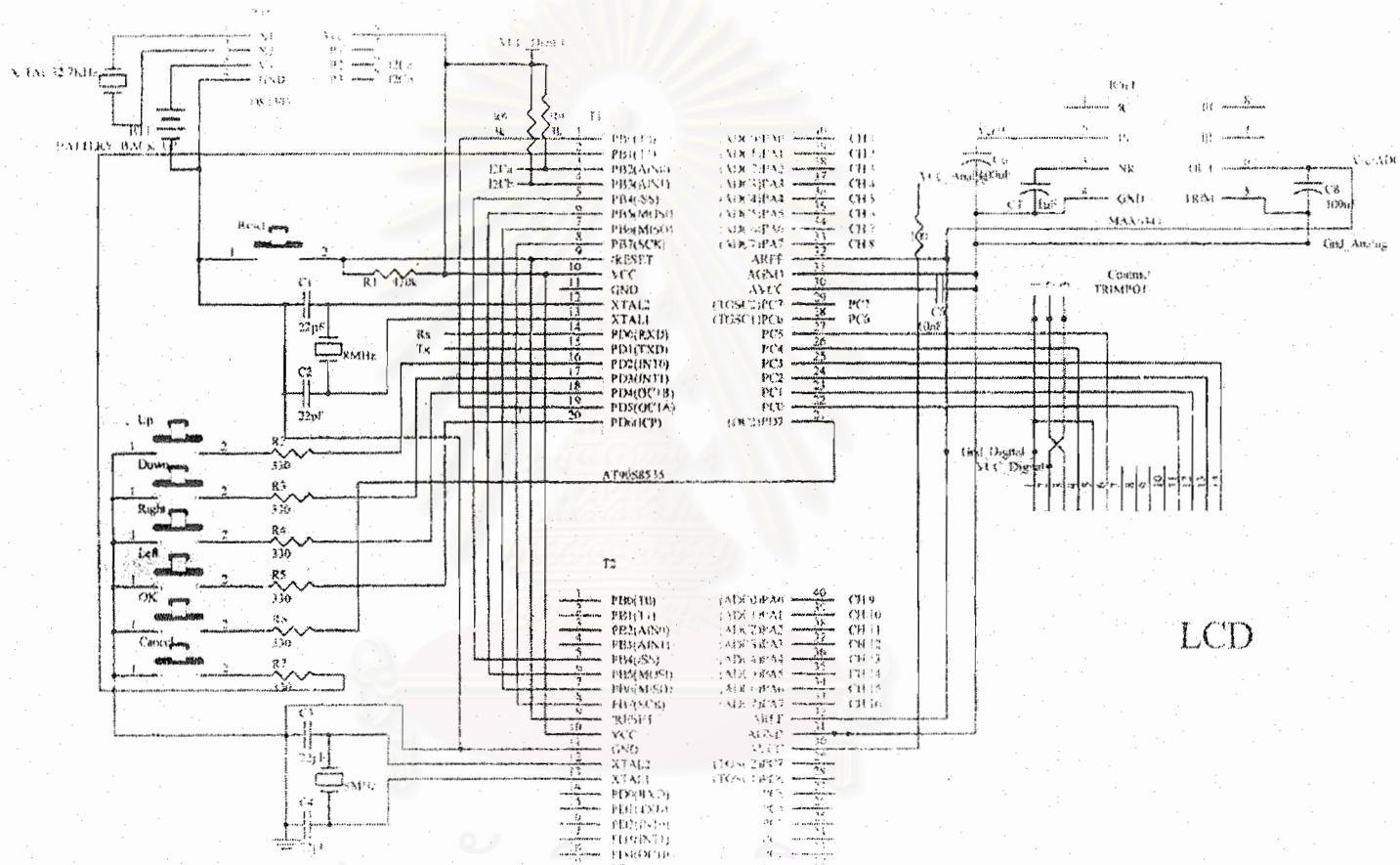
- วงจร Digital และวงจร Display&Button

จากวงจรในรูปที่ ข-5 นั้น เป็นการรวมวงจร Digital และวงจร Display&Button บางส่วนมารวมกันไว้เพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจ โดยรวมเอาปุ่มกดเพื่อสั่งงานให้แก่เครื่องมือ 6 ปุ่มและจอ LCDเพื่อแสดงผลนำมาไว้ในวงจรเดียวกัน วงจร Digital ประกอบด้วย CPU และวงจร ADC หัวใจสำคัญของวงจรในรูปนี้คือ ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT90S8535 ของบริษัท ATMEL โดยไอซีเบอร์นี้เป็นไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR 8 bit พร้อมมีส่วน Analog to Digital Converter (ADC) ในตัวขนาด 8 ช่องสัญญาณ

การทำงานของวงจรจะอาศัยตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นหลัก โดยภายในจะบรรจุโปรแกรมไว้เพื่อให้ทำงานตามต้องการ การทำงานจะเริ่มต้นจากการที่สัญญาณจากวงจร Buffer ที่อยู่ในรูปสัญญาณ analog จะถูกเปลี่ยนไปเป็นสัญญาณรูปแบบ digital โดยอาศัย ADC ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ของทั้ง 2 ตัวเพื่อให้ครบทั้ง 16 ช่องสัญญาณ สำหรับการแปลงสัญญาณนั้นจะอาศัยไอซี MAX6341 เป็นตัวสร้างแรงดันอ้างอิง(Voltage reference)เพื่อให้การแปลงสัญญาณเป็นไปอย่างถูกต้องและแม่นยำ หลังจากการแปลงสัญญาณเสร็จเรียบร้อยแล้ว ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวล่าง (T2) จะส่งข้อมูลไปให้ไอซีตัวบน (T1) ผ่านทาง SPI Port PB4 ถึง PB7 เพื่อให้ไอซีตัวบนเป็นตัวรวบรวมข้อมูลเพื่อแสดงออกทางจอ LCD โดยผ่านทาง Port PC0 ถึง PC5 ของไอซีตัวบน

ในการรับค่าจากปุ่มกดจะอาศัยสวิตช์แบบกดติดปล่อยดับที่ต่อผ่านตัวต้านทาน และต่อไปยัง port PD2 , PD3 , PD4 , PD6 , PD7 และ PB1 เพื่อให้สวิตช์ทำงาน up , down , right , left , OK และ cancel ตามลำดับ โดยในแต่ละข้างของสวิตช์ ด้านหนึ่งจะต่อเข้ากับ port ของไอซีและอีกด้านหนึ่งจะต่อเข้ากับ ground ของวงจร ทั้งนี้เพื่อให้เมื่อทำการกดปุ่มใดแล้ว สวิตช์จะทำให้วงจรใน port นั้นๆ ที่กดลง ground ทำให้ไอซีทำงานในส่วนที่เรากดปุ่ม

ในส่วนของการกำเนิดเวลามาตรฐานนั้นอาศัยไอซีเบอร์ DS1307 ซึ่งภายในมีวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาและเราสามารถดึงข้อมูลภายในมาใช้ได้ โดยอาศัย I^2C interface ผ่านทาง Port PB2 และ PB3 ของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ (ไอซี DS1307 จะมี battery back-up เพื่อสำรองในกรณีที่ไฟฟ้าดับ จะไม่ทำให้เวลาที่ตั้งไว้สูญหาย)



รูปที่ ช-5 วงจร Digital และ วงจร Display&Button

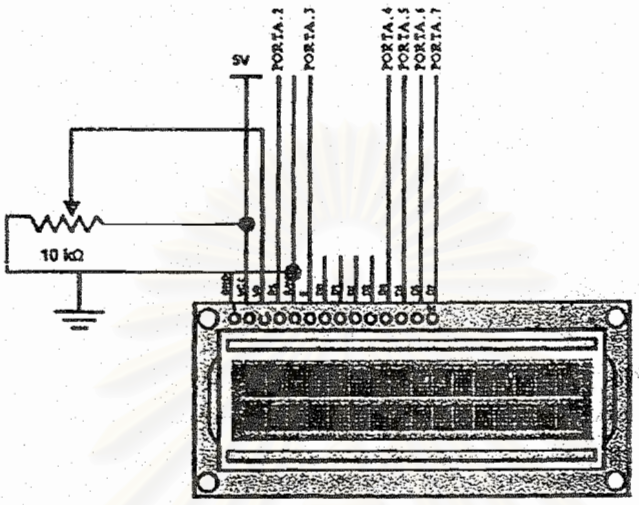
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

real time clock (RTC) มีหน้าที่สำหรับเป็นฐานนาฬิกาให้สำหรับเครื่องมือเพื่อสำหรับแสดงผลออกทางจอ LCD และยังทำหน้าที่กำเนิดความถี่ 32.768 kHz ให้แก่ตัวคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้ในการ samplingข้อมูลอีกด้วย RTC ต้องการอุปกรณ์ภายนอก คือ คริสตอลความถี่ 32.768 เพื่อสร้างความถี่สำหรับให้ตัวมันเองทำงาน

การทำงานของ RTC จะเริ่มจากการมีคำสั่งจากตัวคอนโทรลเลอร์ให้ RTC ทำงาน โดยมีรูปแบบการสื่อสารระหว่างกันเป็นแบบ I^2C และเมื่อ RTC เริ่มทำงานแล้ว ตัว RTC เองจะทำงานเสมือนเป็นนาฬิกาและข้อมูลของเวลา RTC จะเก็บไว้ใน internal ROM ดังนั้นตัวคอนโทรลเลอร์สามารถรับเวลาจากตัวRTC ได้โดยการอ่านข้อมูลที่อยู่ใน ROM เมื่อ RTC ขาดไฟเลี้ยงตัวนาฬิกาภายในก็ยังสามารถเดินต่อไปได้ ถ้ามีการต่อแบตเตอรี่ขนาด 3 โวลต์ไว้ โดยแบตเตอรี่ลิเธียมขนาด 48 mAhr สามารถมีอายุการใช้งานนานถึง 10 ปี

ในส่วนของการแสดงผลผ่านทางจอ LCD นั้น กาศัยการ interface แบบ 4 บิต ผ่านทาง port PC0 ถึง PC3 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยการส่งข้อมูลครั้งละ 4 บิต โดยส่ง 4 บิตบนก่อนจากนั้นจึงส่ง 4 บิตล่างจนครบ 8 บิต และมีขาควบคุมการทำงานของจอ LCD ผ่านทาง Port PC4 และ PC5 นอกจากนี้สามารถปรับความเข้มของจอ LCDได้ โดยปรับความต้านทานของ TRIMPOT เพื่อปรับแรงดันให้แก่ขาสามของจอ LCD ลักษณะและการต่อวงจรของ LCD แดงในรูปที่ ช-6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ช-6 แสดงลักษณะและการต่อวงจรของ LCD

จากรูปที่ ช-6 จะแบ่งสายสัญญาณที่ต่อเข้ากับ LCD เป็น 2 ประเภทคือ สายสัญญาณควบคุม และสายสัญญาณข้อมูล โดยโครงงานนี้จะอาศัยสายสัญญาณข้อมูลเพียง 4 เส้น ซึ่งเป็นการประหยัดกว่าการใช้สายสัญญาณข้อมูล 8 เส้น โดยในการใช้สายสัญญาณ 4 เส้นนั้น การส่งข้อมูลขนาด 8 บิท จะแบ่งการส่งเป็น 4 บิทบน และ 4 บิทล่าง โดยจะส่ง 4 บิทบนก่อน แล้วค่อยตามด้วย 4 บิทล่าง สำหรับสายสัญญาณควบคุมนั้นประกอบด้วย

- สายสัญญาณ RS มีหน้าที่ในการเลือกว่าจะติดต่อกับจอ LCD ในส่วนใดระหว่างหน่วยความจำที่บรรจุคำสั่งต่างๆ หรือหน่วยความจำที่บรรจุตัวอักษร
- สายสัญญาณ E มีหน้าที่ในการสั่งให้จอ LCD ทำงาน
- สายสัญญาณ R/W มีหน้าที่ในการเลือกว่าจะอ่านข้อมูลจากจอ LCD หรือเขียนข้อมูลลงบนจอ LCD เพื่อเป็นการประหยัดสายสัญญาณ เนื่องจากไม่มีการอ่านจากจอ LCD มีแต่การเขียนลงบนจอ ดังนั้นสายสัญญาณนี้จึงต่อลงกราวด์ตลอดเวลา

ในการทำงานของจอ LCD นั้นภายในของจอ LCD จะมีหน่วยความจำที่เก็บลักษณะตัวอักษรไว้ภายใน ดังนั้นในการใช้งานจึงต้องอาศัยคำสั่งเพื่อที่จะอ้างอิงถึงที่อยู่ของแต่ละตัวอักษร และให้ตัวอักษรนั้นแสดงปรากฏออกทางจอ

- วงจร Memory

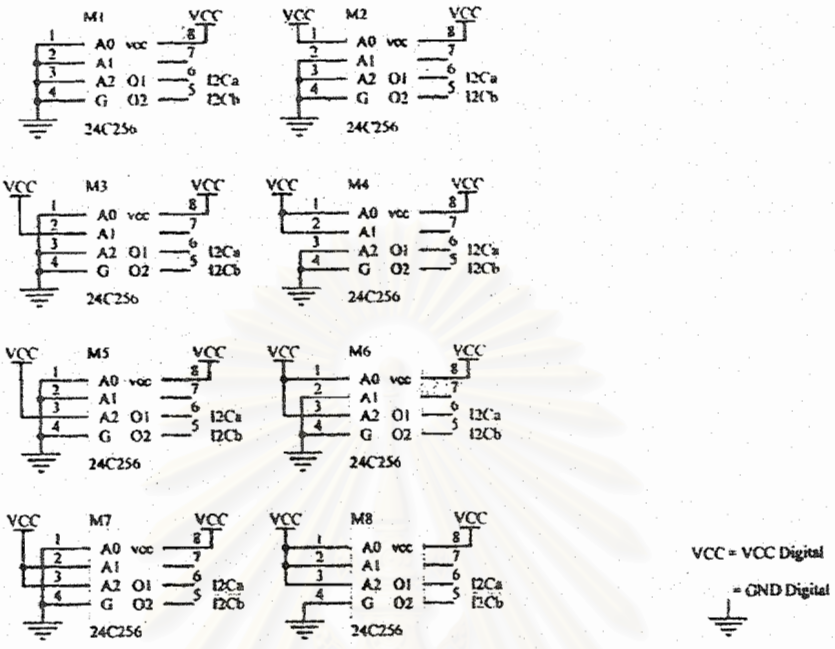
ในส่วนของวงจร Memory สำหรับการเก็บข้อมูลการวัดค่าความดัน ตามรูป ช-7 จะอาศัยไอซีเบอร์ 24C256 ซึ่งเป็นไอซี Memory แบบ serial memory อาศัยการติดต่อแบบ I2C interface ผ่านทาง port PB2 และ PB3 ของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับการใช้งานนั้นสามารถต่อ port I^2C ร่วมกันได้ โดยจะระบุชื่อของอุปกรณ์ที่จะทำการติดต่อก่อน เพื่อให้อุปกรณ์ที่ต้องการจะทำงานทราบและทำงานตามที่โปรแกรมสั่ง โดยในการระบุอุปกรณ์ประเภทไอซี memoryนั้น สามารถระบุได้แตกต่างกันถึง 8 ตำแหน่ง ซึ่งอาศัยการต่อขา A0ถึง A2 ของไอซี Memoryที่ต่างกัน ทำให้มีหน่วยความจำรวมเท่ากับ 8 * 32 kbyte = 256 kbyte

หน่วยความจำภายนอกมีหน้าที่สำหรับเก็บข้อมูลตามช่วงเวลาที่กำหนด เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลทางสถิติต่อไป โดยเป็นหน่วยความจำแบบ Serial Eeporm มีการติดต่อแบบ I^2C มีขนาดความจุขนาด 256 kbytes โดยสามารถต่อขนานกันถึง 8 ตัวและทำให้มีขนาดหน่วยความจำถึงขนาด 2 Mbytes ได้

การทำงานของหน่วยความจำจะเริ่มจาก

- การกำหนด address ของอุปกรณ์ นั่นคือ 1010XXXA โดย 1010 เป็นตัวระบุว่าเป็นอุปกรณ์สำหรับหน่วยความจำ (สำหรับ RTC ที่กล่าวมาแล้วจะระบุเป็น 1101) XXX สามตัวหลังเป็นการระบุว่าจะให้หน่วยความจำตัวใดทำงาน เนื่องมาจากที่หน่วยความจำสามารถต่อขนานกันถึง 8 ตัวนั่นเอง และ A ตัวสุดท้ายไว้สำหรับระบุว่าจะอ่าน ('1') หรือ ('0')
- ขั้นต่อมาคือการระบุ address ที่เราจะอ่านหรือเขียนข้อมูล เนื่องจากการอ้างหน่วยความจำจะให้จำนวนบิท คือ 15 บิท ดังนั้นจึงต้องอ้าง 2 ครั้ง โดยอ้างบิทบนก่อนแล้วตามด้วยบิทล่าง
- เมื่อกำหนด address เรียบร้อยแล้ว ต่อมาถ้าต้องการเขียนข้อมูล ก็ให้ทำการเขียนข้อมูลได้เลย หรือถ้าทำการอ่าน ก็อ่านได้เลยเช่นกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

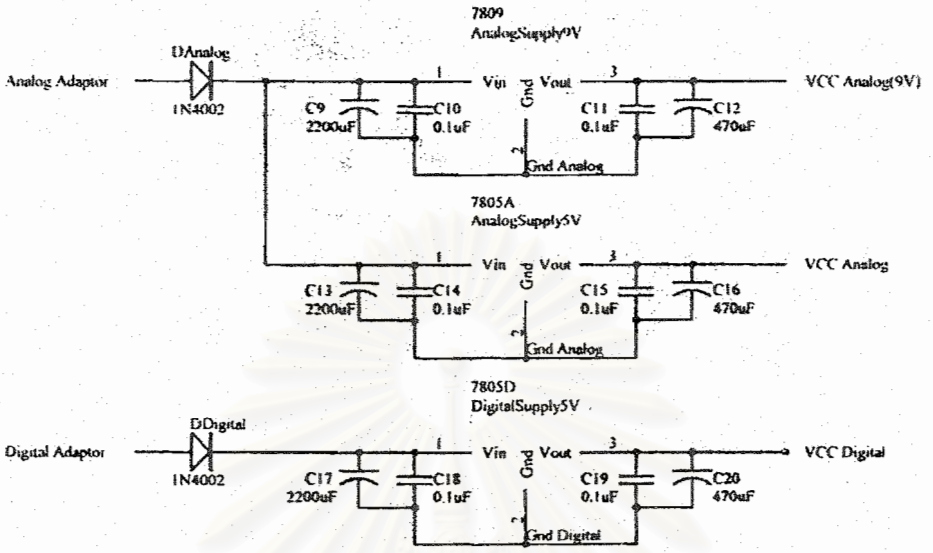


รูปที่ ช-7 วงจร Memory

- วงจร Power Supply

การทำงานของวงจรแหล่งจ่ายไฟตามรูป ช-8 จะแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนจ่ายไฟสำหรับวงจร Digital ที่สามารถจ่ายแรงดัน 5 โวลต์ เพียงค่าเดียว และส่วนจ่ายไฟสำหรับวงจร Analog ที่จ่ายแรงดัน 2 ค่า คือ 5 โวลต์ และ 9 โวลต์

หลักการและการทำงานของทั้ง 2 ภาคจะไม่แตกต่างกัน โดยทั้ง 2 ภาค จะรับแรงดันไฟตรงจาก adaptor ของแต่ละภาคผ่านไดโอด (diode) เบอร์ 1N4002 ที่ต่อไว้เพื่อป้องกันการกลับขั้ว จากนั้นจะผ่านตัวเก็บประจุค่า 2200 μF ที่ต่อไว้เพื่อกรองกระแสให้ราบเรียบมากขึ้น และผ่านตัวเก็บประจุค่า 0.1 μF เพื่อกรองส่วนที่เป็นความถี่สูงออกไปและป้อนแรงดันดังกล่าวให้แก่ไอซีเรกูเลเตอร์ (IC regulator) ที่มีหน้าที่ทำให้ได้แรงดันขาออกตามที่ต้องการ โดยใช้ไอซีเรกูเลเตอร์ เบอร์ 7805 สำหรับให้แรงดันขาออก 5 โวลต์และเบอร์ 7809 สำหรับให้แรงดันขาออก 9 โวลต์ หลังจากได้แรงดันขาออกที่ต้องการจากไอซีเรกูเลเตอร์ แล้วยังต้องผ่านตัวเก็บประจุ 470 μF และตัวเก็บประจุ 0.1 μF อีกครั้ง เพื่อให้กระแสราบเรียบและกรองส่วนที่มีความถี่สูงออกไป ก่อนที่จะจ่ายให้แก่วงจร (แรงดัน 9 โวลต์ ของแหล่งจ่ายไฟภาค analog นั้นจะจ่ายไฟให้ 2 วงจร ได้แก่ วงจร Buffer และวงจรกำเนิดแรงดันอ้างอิง)

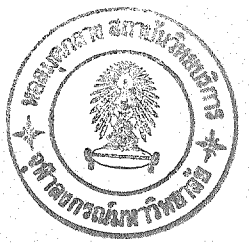


รูปที่ ช-8 วงจร Power Supply

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ซ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ซ
รายละเอียดของเซนเซอร์วัดความดัน

1. ลักษณะของเซนเซอร์วัดความดัน

ความดัน คือ แรงดันที่กระทำโดยของไหลต่อพื้นที่ที่กำหนด โดยการวัดความดันนั้นจะต้องวัดเทียบกับความดันอ้างอิง ซึ่งความดันอ้างอิงค่าหนึ่งก็คือความดันของสูญญากาศซึ่งมีค่าเป็นศูนย์ จึงเรียกความดันที่เปรียบเทียบนี้ว่า ความดันสมบูรณ์ (absolute pressure) ส่วนความดันอีกแบบคือความดันเกจ (gage pressure) ซึ่งใช้ความดันแวดล้อมขณะนั้นเป็นความดันอ้างอิง ดังนั้นอุปกรณ์วัดความดันจะต้องประกอบด้วย ส่วนสำหรับการวัดและการเปรียบเทียบความดันอ้างอิง โดยความดันอ้างอิงอาจจะเป็นความดันที่กำหนดขึ้นเองก็ได้และเรียกอุปกรณ์นี้ว่า เซนเซอร์วัดความดันเปรียบเทียบ (differential pressure sensor)

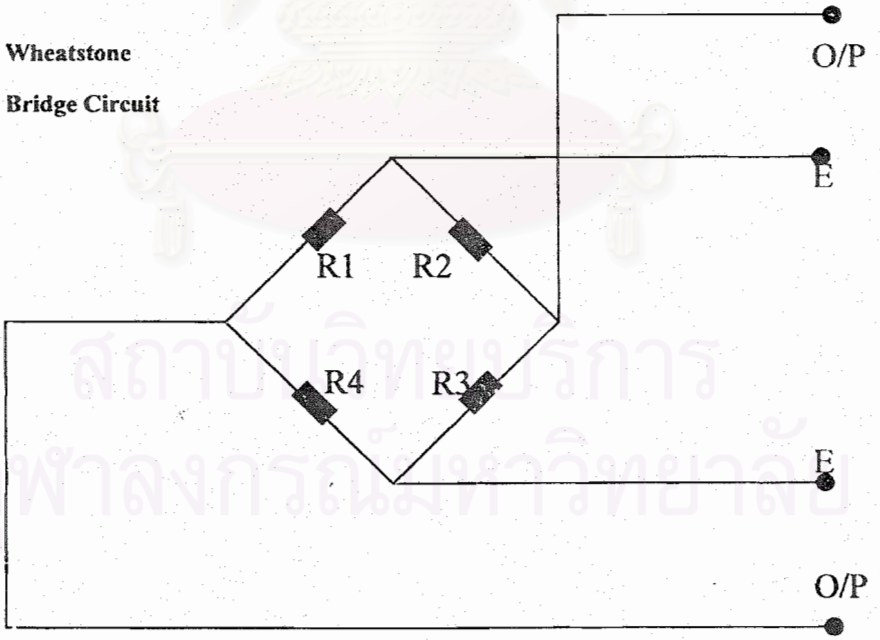
เซนเซอร์วัดความดันจะใช้อุปกรณ์ทางกลที่มีการขยายตัวเป็นสัดส่วนกับความดัน เช่น strain gages , LVDT , potentiometer , piezoeletric หรือการวัดจากการนำไฟฟ้า หรือค่าตัวเก็บประจุ ซึ่งเปลี่ยนระยะทางเป็นสัญญาณไฟฟ้า แต่อุปกรณ์ที่นิยมใช้มากก็คือ strain gages โดยจะใช้วัดแรงเค้นที่กระทำกับแผ่นไดอะแฟรมที่ยึดไว้กับโครงของเซนเซอร์ ความดันจะเปลี่ยนเป็นความต้านทานและเปลี่ยนเป็นความดันไฟฟ้าโดยวงจรวีตสโตนบริดจ์ แผ่นไดอะแฟรมที่นิยมใช้จะเป็นแผ่นโลหะ ซึ่งมีข้อดีคือราคาถูกและมีความแม่นยำพอสมควร นอกจากนี้ยังมีเสถียรภาพทางอุณหภูมิที่ดี อีกทั้งยังทนต่อการสึกกร่อนอีกด้วย อย่างไรก็ตามสัญญาณที่วัดได้จะมีขนาดเล็ก จึงจำเป็นต้องมีการขยายสัญญาณให้เหมาะสมเสียก่อน และความหนาของแผ่นจะเป็นตัวกำหนดช่วงความดันที่วัดได้ ดังนั้นแผ่นไดอะแฟรมบางซึ่งใช้วัดความดันต่ำ จะมีอายุการใช้งานนานและมีความเป็นเชิงเส้นที่ดี นอกจากนี้แผ่นไดอะแฟรมยังมีสัมประสิทธิ์อุณหภูมิที่เข้ากับโครงสร้างของเซนเซอร์ซึ่งเป็นท่อทำให้ลดผลของแรงเค้น เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิแวดล้อมและตัวต้านทานในวงจรวีตสโตนบริดจ์ควรจะมีค่าแม่นยำ และการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากอุณหภูมิควรอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

แผ่นไดอะแฟรมที่นิยมใช้อีกชนิดหนึ่งคือ piezoresistive ซึ่งสร้างมาจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน มีข้อดีคือ ความไวสูงมาก (sensitivity หรือ gage factor) มากกว่าแผ่นไดอะแฟรมโลหะประมาณ 100 เท่า เนื่องจากโครงสร้างผลึกของซิลิคอนทำให้ซิลิคอนเป็นวัสดุที่มีความยืดหยุ่นที่ดีกว่าโลหะทั่วไปทำให้มีการเปลี่ยนรูปเนื่องจากแรงเค้นน้อยมาก นอกจากนี้ยังทำให้สามารถสร้างความต้านทานที่มีค่าเท่ากันได้ 2 คู่ ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากแรงเค้นเท่าๆ กันทำให้มีความแม่นยำมาก

ในปัจจุบันมีเซนเซอร์วัดความดันที่ใช้หลักการนี้ โดยภายในบรรจุซิลิคอนชิพที่รวมส่วนที่เป็นแผ่นไดอะแฟรม และ piezoresistive ทั้ง 4 อันเข้าด้วยกัน มีขนาดเล็กกระทัดรัด สามารถต่อใช้งานได้ทันที โดยภายในจะมีวงจรขยายและวงจรปรับศูนย์ ให้สัญญาณออกมีขนาดใหญ่ ต่อออกไปใช้งานได้

2. **หลักการทำงานของเซนเซอร์วัดความดัน ชนิด** piezoresistive

เซนเซอร์วัดความดัน ชนิด piezoresistive เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดความดัน สร้างจากสารกึ่งตัวนำ มีหลักการทำงานดังนี้ ไดอะแฟรมที่เป็น piezoresistive เมื่อได้รับแรงกดหรือแรงดึงจากภายนอกจะทำให้ค่าความต้านทานมีค่าเปลี่ยนไป ซึ่งสามารถวัดความเปลี่ยแปลงได้จากการวัดค่าแรงดันหรือกระแสที่เปลี่ยนไปจากการป้อนสัญญาณไฟฟ้าคงที่ให้บริดจ์ของ piezoresistive ทั้ง 4 ตัว วิธีที่นิยมใช้คือใช้เป็นส่วนประกอบของวงจรวีตสโตนบริดจ์ ดังแสดงในรูปที่ ซ-1



รูปที่ ซ-1 แสดงการใช้ piezoresistive ในวงจรวีตสโตนบริดจ์ โดยใช้เป็นตัว R1,R2,R3 และ R4

จากรูปที่ ซ-1 เราสามารถทำการคำนวณหาแรงดันที่ขา O/P เนื่องจากการเปลี่ยแปลงความดันได้ โดยจุด E คือแรงดันจากภายนอกที่จ่ายให้วงจรวีตสโตนบริดจ์ ค่าที่อ่านได้จากวงจรจะขึ้นอยู่กับการออกแบบวงจร ซึ่งมี 3 กรณี ได้แก่

- ค่า R2 มีการเปลี่ยนแปลงจากแรงดันภายนอกเป็น $R+\Delta R$ และถ้าค่า R1,R2,R3 และ R4 มีค่าใหญ่มากเมื่อเทียบกับค่า ΔR จะสามารถอ่านค่าได้เป็น $V_{out}=\Delta RE/4R$ ที่ขา O/P
- ค่า R2 มีการเปลี่ยนแปลงจากแรงดันภายนอกเป็น $R+\Delta R$ ค่า R3 มีการเปลี่ยนแปลงจากแรงดันภายนอกเป็น $R- \Delta R$ และถ้าค่า R1,R2,R3 และ R4 มีค่าใหญ่มากเมื่อเทียบกับค่า ΔR จะสามารถอ่านค่าได้เป็น $V_{out}=\Delta RE/2R$ ที่ขา O/P

- ค่า R2 มีการเปลี่ยนแปลงจากแรงดันภายนอกเป็น $R+\Delta R$ ค่า R3 มีการเปลี่ยนแปลงจากแรงดันภายนอกเป็น $R- \Delta R$ ค่า R4 มีการเปลี่ยนแปลงจากแรงดันภายนอกเป็น $R+\Delta R$ ค่า R1 มีการเปลี่ยนแปลงจากแรงดันภายนอกเป็น $R- \Delta R$ และถ้าค่า R1,R2,R3 และ R4 มีค่าใหญ่มากเมื่อเทียบกับค่า ΔR จะสามารถอ่านค่าได้เป็น $V_{out}=\Delta RE/R$ ที่ขา O/P

3. **เซนเซอร์วัดความดันที่ใช้ในการวัดความดันของน้ำที่ใช้ในโครงการ**

ชื่อ Absolute Monolithic Signal Conditioned Pressure Sensor ของบริษัท Honeywell

ลักษณะเด่น

- เป็นไอซีชิพสำเร็จชนิด Monolithic มีวงจรขยาย signal conditioner อยู่ภายใน ให้สัญญาณออกขนาดใหญ่พร้อมไปใช้งาน
- ค่าความดันที่วัดได้เป็นค่า absolute (เป็นค่าความดันที่วัดเทียบกับสูญญากาศ)
- มีขนาดเล็ก กะทัดรัด
- มีช่วงการวัดอยู่ที่ 0-15 จนถึง 0-100 psi
- มีการ exite ด้วยกระแสคงที่ 10 mA ทำให้ลดผลกระทบของการวัด จากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ
- มี accuracy ในการวัด ซึ่งรวม hysterisis และ repeatabilit

ประกอบด้วย

1. P_1ถึงP_{15} ใช้สำหรับวัดแรงดันน้ำที่จุดต่างๆในแบบจำลอง ได้แก่ ในชั้นน้ำ13 ตัว ที่บ่อบาดาล 1 ตัวและที่ท่อส่งของเครื่องสูบน้ำ 1 ตัว ใช้ Water pressure transducerที่วัดแรงดันน้ำได้ในช่วง 0 ถึง 100 psi(0-69 mH_2O) ของ "Honeywell" รุ่น 4040PC100G5D มีรายละเอียดทางเทคนิคแสดงในตารางที่ ซ-1

2. P_{16} ใช้สำหรับวัดระดับน้ำหน้าฝายใช้ water pressure transducer ที่วัดแรงดันน้ำได้ในช่วง +/- 50 mmHg(+/- 0.67 mH_2O) ของ "Honeywell" รุ่น 40PC001B2A มีรายละเอียดทางเทคนิคแสดงในตารางที่ ซ-2

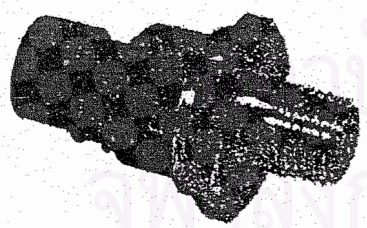
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ซ-1 รายละเอียดทางเทคนิคของ water pressure transducer “Honeywell“ รุ่น 4040PC100G5D

4040PC100G5D

Pressure Sensors: Measurement Type: Gage; Signal Conditioning: Amplified; Pressure Range: 100 psi; Port S in - 18NPT

Product Specifications	
Measurement Type	Gage
Signal Conditioning	Amplified
Pressure Range	100 psi
Series Name	4000PC Series
Temperature Compensation	Yes
Output Type	4.5 Vdc typ.
Output Calibration	Yes
Termination	Packard Connector With Leadwires
Port Style	1/4 in - 18NPT
Package Style	Thermoplastic, Stainless Steel
Full Scale Span	4.0 Vdc typ.
Supply Voltage	5 Vdc ± 0.25 Vdc
Maximum Overpressure	200 psi
Null Offset	0.50 ± 0.04 Vdc
Repeatability & Hysteresis Error	0.15 % span typ.
Linearity	0.10 % span max.
Operating Temperature Range	-45 °C to 125 °C [-49 °F to 257 °F]
Compensated Temperature Range	-45 °C to 125 °C [-49 °F to 257 °F]
Media Compatibility	Fluorosilicone, glass, silicon, stainless steel, invar, Sn/Ni plating or Sn/Ag solder.
Sensitivity	40.0 mV/psi
Availability	Global
UNSPSC Code	411121
UNSPSC Commodity	411121 Transducers



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ซ-2 รายละเอียดทางเทคนิคของ water pressure transducer "Honeywell" รุ่น 40PC001B2A

40PC001B2A

Pressure Sensors: Measurement Type: Bi-Directional Gage; Signal Conditioning: Amplified; Pressure Range: ± 50 mm Hg; Port Style: Straight for O-ring interface

Product Specifications	
Measurement Type	Gage
Signal Conditioning	Amplified
Pressure Range	± 50 mm Hg
Series Name	40PC Series
Temperature Compensation	Yes
Output Type	4.5 Vdc typ.
Output Calibration	Yes
Termination	PCB; Leads formed away from port
Port Style	Straight for O-ring interface
Package Style	Honeywell - Monolithic
Full Scale Span	4.0 Vdc typ.
Supply Voltage	5 Vdc ± 0.25 Vdc
Maximum Overpressure	± 170 mm Hg
Null Offset	2.50 Vdc ± 0.050 Vdc
Repeatability & Hysteresis Error	± 0.15 % span typ.
Linearity	0.80 % span max.
Operating Temperature Range	-45 °C to 125 °C [-49 °F to 257 °F]
Compensated Temperature Range	-45 °C to 125 °C [-49 °F to 257 °F]
Media Compatibility	P1 port: Dry gas only. Media must be compatible with epoxy based adhesive. P2 port: Media must be compatible with glass, silicon, stainless steel, invar, Sn/Ni plating or Sn/Ag solder.
Sensitivity	40.0 mV/mm Hg typ.
Availability	Global
UNSPSC Code	411121
UNSPSC Commodity	411121 Transducers

ภาคผนวก ฌ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ฌ
ผลการสอบเทียบอุปกรณ์

1. ผลการสอบเทียบ เซนเซอร์วัดความดัน

ผลการสอบเทียบเซนเซอร์วัดความดัน ทั้ง 2 รุ่นของ Honeywell คือ 4040PC100G5D ช่วงวัด 0-100 psi ซึ่งใช้ในการวัดความดันน้ำ และรุ่น 40PC001B มีช่วงการวัด 0-50 mmHg ซึ่งใช้ในการวัดความดันน้ำหน้าฝายวัดอัตราการไหล เพื่อไปคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำต่อไป

การสอบเทียบทำโดยศูนย์สอบเทียบเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น) มี linearity สูงสุด คือ 0.134% of full scale ทั้งสองตัว แสดงว่าอยู่ในลิมิตของ accuracy ที่แสดงไว้ใน specification โดยมีรายละเอียดผลการทดสอบดังนี้

1.1 เซนเซอร์วัดความดัน "Honeywell : 4040PC100G5D" ดำเนินการสอบเทียบด้วย dead-weight tester โดยใช้ก๊าซไนโตรเจนเป็นตัวกลาง

Range:0-100 psi./0.5-4.5 V DC.			
Applied Pressure (psi.)	Output Required (V DC)	Actual Output (V DC)	Error (V DC)
Increasing Pressure			
0.000	0.50000	0.50959	0.00959
24.831	1.49324	1.51582	0.02258
49.662	2.48650	2.52260	0.03610
74.493	3.47970	3.53010	0.05040
99.324	4.47300	4.53810	0.06510
Decreasing Pressure			
74.493	3.47970	3.53030	0.05060
49.662	2.48650	2.52280	0.03630
24.831	1.49324	1.51591	0.02267
0.000	0.50000	0.50962	0.00962
The uncertainty of measurement : +/- 1 mV			

1.2 เซนเซอร์วัดความดัน "Honeywell : 40PC001B" ดำเนินการสอบเทียบด้วย digital manometer โดยใช้อากาศบริสุทธิ์เป็นตัวกลาง

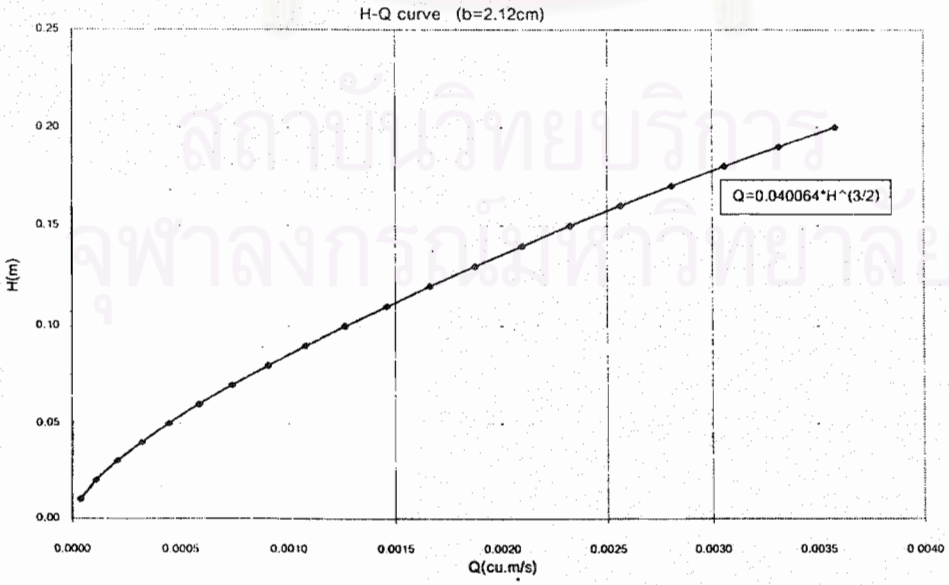
Range:0-50 mm Hg/2.5-4.5 V DC.			
Applied Pressure (psi.)	Output Required (V DC)	Actual Output (V DC)	Error (V DC)
Increasing Pressure			
0.0	2.5000	2.5667	0.0667
12.5	3.0000	3.0523	0.0523
25.0	3.5000	3.5362	0.0362
37.5	4.0000	4.0176	0.0176
50.0	4.5000	4.4977	-0.0023
Decreasing Pressure			
37.5	4.0000	4.0176	0.0176
25.0	3.5000	3.5356	0.0356
12.5	3.0000	3.0522	0.0522
0.0	2.5000	2.5667	0.0667
The uncertainty of measurement : +/- 8.7 mV			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. ผลการสอบเทียบฝายวัดอัตราการไหล

การสอบเทียบฝายวัดอัตราการไหล เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำเหนือสันฝาย กับอัตราการไหล ดำเนินการที่ห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้ถังวัดอัตราการไหลในการวัดอัตราการไหล ได้ $c_d = 0.64$ ดังตาราง

ความกว้างของช่องเปิด (b) : 2.12 cm.					
Test No.	ระดับน้ำเหนือสันฝาย(H) เมตร	อัตราการไหล(Q) ลบ.ม./วินาที	อัตราการไหล(Q) ลิตร/วินาที	H^(3/2)	Cd
1	0.000	0.000000	0.000000	0.000	-
2	0.029	0.000209	0.209322	0.005	0.68
3	0.038	0.000285	0.285363	0.007	0.62
4	0.052	0.000468	0.468038	0.012	0.63
5	0.064	0.000650	0.649575	0.016	0.64
6	0.077	0.000838	0.838312	0.021	0.63
7	0.088	0.001039	1.039330	0.026	0.64
8	0.100	0.001264	1.263725	0.032	0.64
9	0.108	0.001411	1.411422	0.035	0.64
10	0.118	0.001621	1.620692	0.041	0.64
11	0.129	0.001868	1.867727	0.046	0.64
12	0.140	0.002118	2.118254	0.052	0.65
					0.64



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. **ผลการสอบเทียบ** data logger

จากการทดสอบเครื่อง data logger ในห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยทำการเปรียบเทียบความดันที่คำนวณได้จากเครื่อง data logger เมื่อใส่แรงดันมาตรฐานให้แก่เครื่อง data logger ได้ผลดังนี้

Applied Voltage	Output Required		Actual Output	Error	
(V DC)	(psi)	(meter Water)	(meter Water)	(meter Water)	(%)
0.5	0	0	0	0	0
0.9966	12.4094846	8.74	8.73	0.01	0.01622586
1.493	24.8246486	17.484	17.46	0.024	0.03894207
1.99	37.2497515	26.235	26.19	0.045	0.07301639
2.487	49.6748545	34.986	34.93	0.056	0.09086484
2.983	62.0744001	43.719	43.66	0.059	0.0957326
3.479	74.4753656	52.453	52.39	0.063	0.10222294

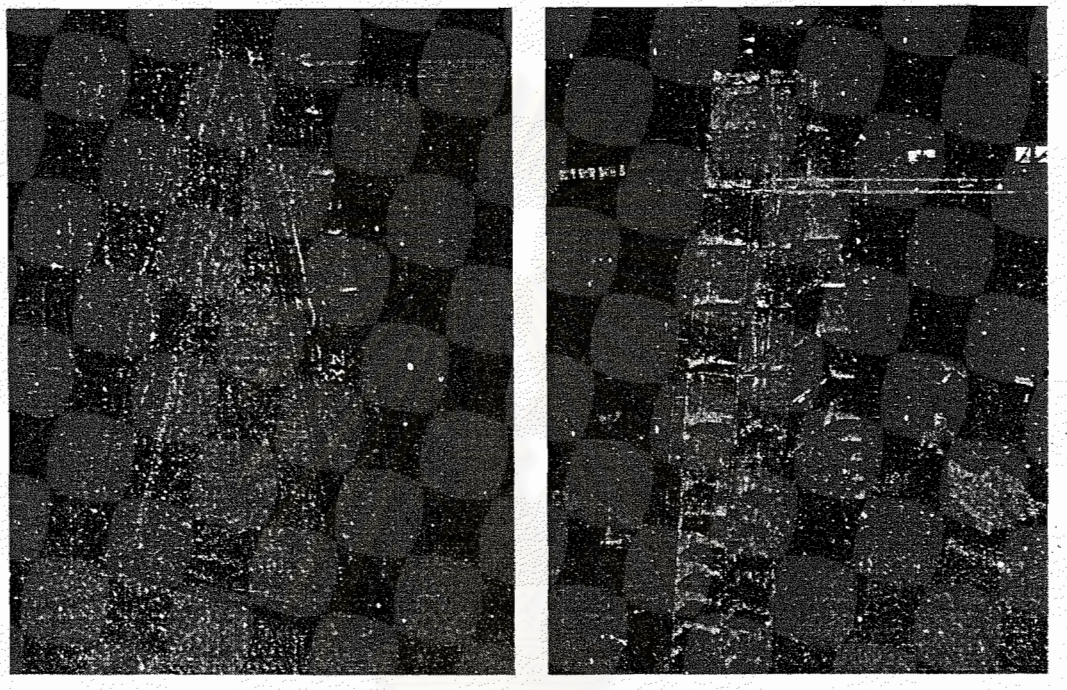
จากผลที่ได้จากการเปรียบเทียบระหว่างค่าความดันที่ได้กับค่าจริง จะพบว่ามีความคลาดเคลื่อนมากที่สุดเพียง 0.1% เท่านั้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

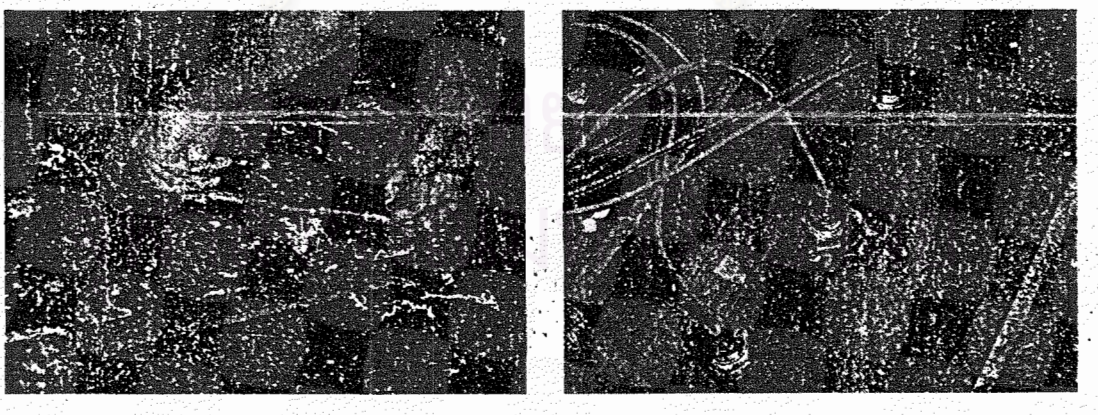
ภาคผนวก ญ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ญ
รูปถ่ายเครื่องมือระหว่างการประดิษฐ์

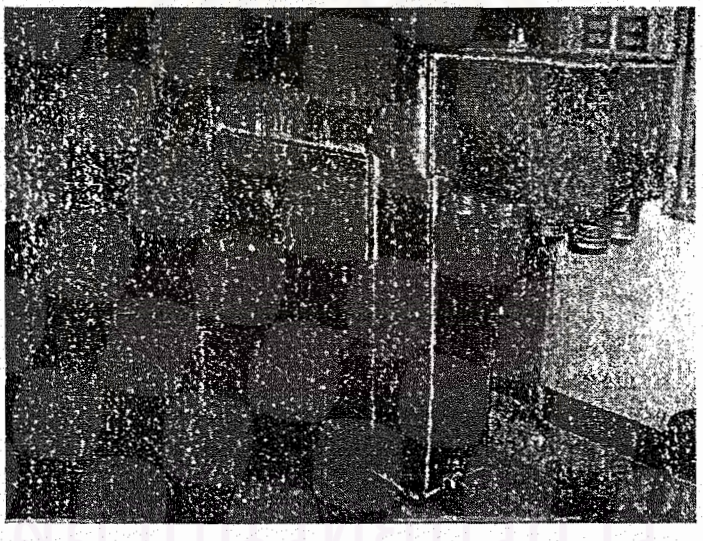


รูปที่ ญ-1 การประกอบโครงสร้างเหล็กของแบบจำลอง



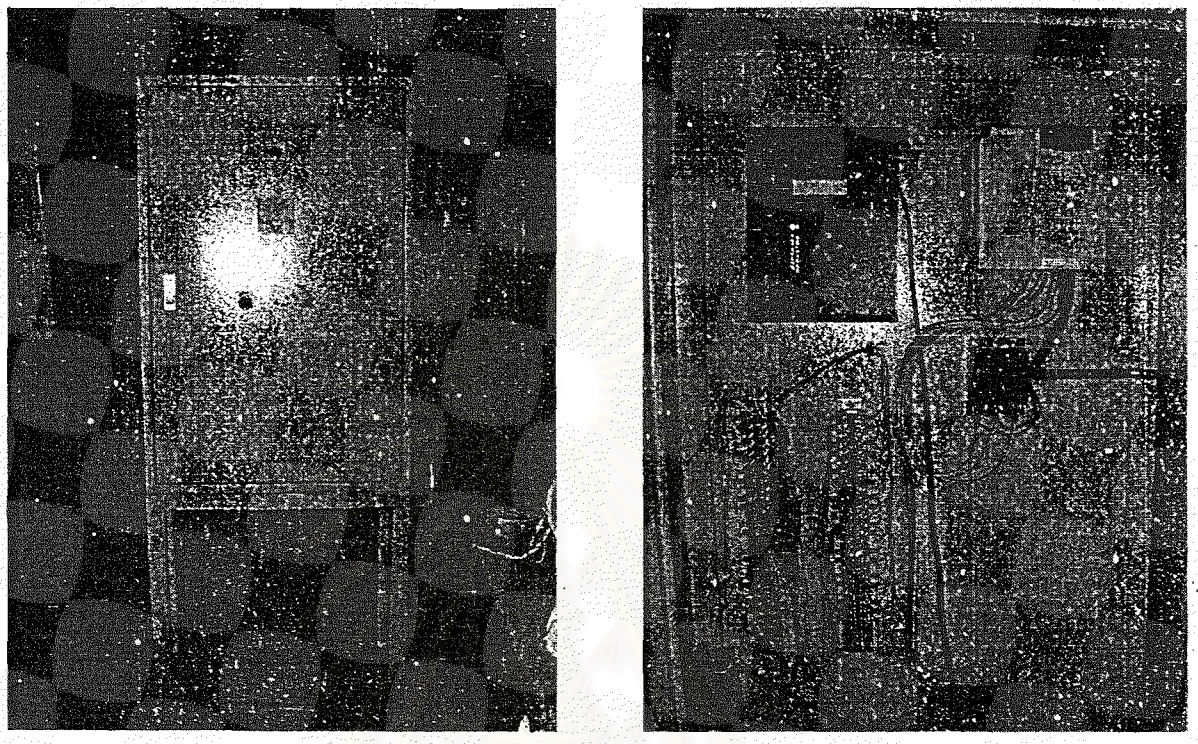
รูปที่ ญ-2 การทำเกลียวที่แผ่นพลาสติกและการติดเซนเซอร์วัดความดัน

รูปที่ ญ-3 การประกอบถังเก็บน้ำ

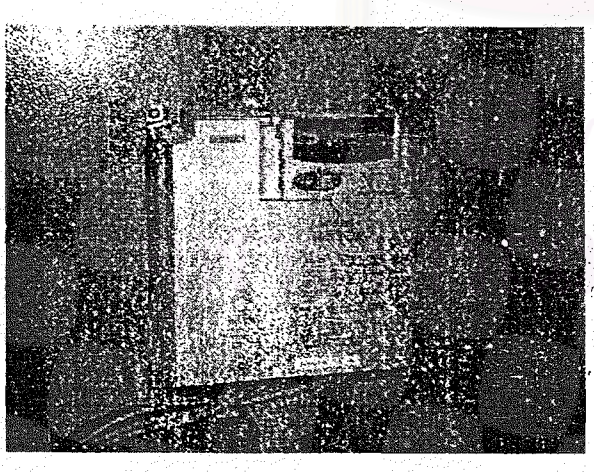


รูปที่ ญ-4 กล่องนำน้ำเข้ารางวัดอัตราการไหล

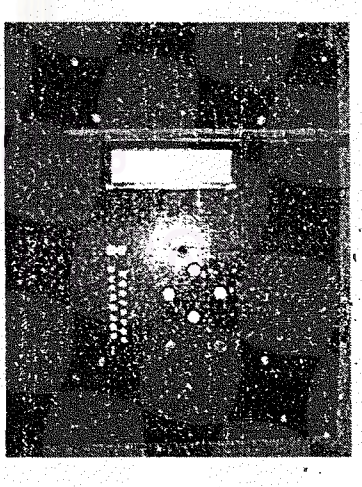
รูปที่ ญ-5 บ่อบาดาลทดลอง



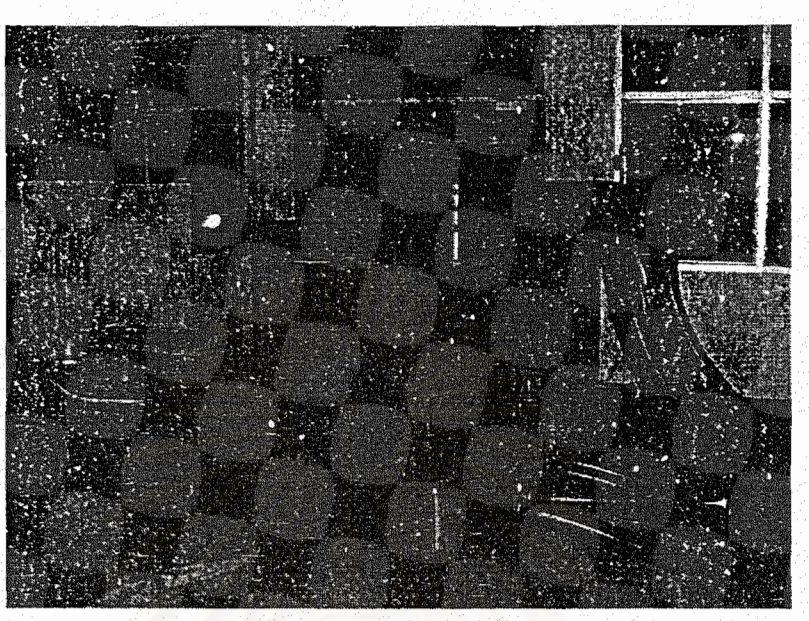
รูปที่ ญ-6 ภายนอกและภายในตู้ควบคุม



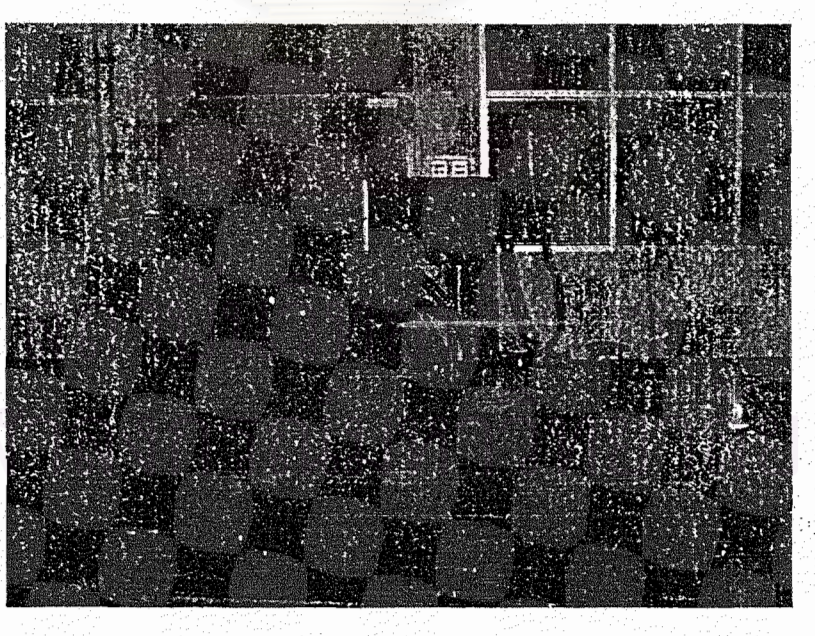
รูปที่ ญ-7 Inverter



รูปที่ ญ-8 Data Logger



รูปที่ ญ-9 การทดลองการเติมน้ำใต้ดิน



รูปที่ ญ-10 การทดลองการสูบน้ำใต้ดิน

ภาคผนวก ฎ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โครงการสิ่งประดิษฐ์
กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช

คู่มือการใช้งาน
เครื่องจำลองการสูบน้ำและเติมน้ำใต้ดิน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดย
รศ.ดร. สุจริต คูณธนกุลวงศ์
รศ.กฤษดา วิศวธีรานนท์

มิถุนายน 2545

สารบัญ

1.บทนำ.....๘๙
2.รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้
2.1 แบบจำลองบ่อบาดาล-ชั้นน้ำ.....๙๑
2.2 เครื่องสูบน้ำ.....๙๒
2.3 ตัวปรับความเร็วรอบมอเตอร์เครื่องสูบน้ำ.....๙๒
2.4 อุปกรณ์วัดความดันน้ำ.....๙๓
2.5 Data Logger.....๙๔
2.6 อุปกรณ์วัดอัตราการไหล.....๙๔
3.ขอบเขตการใช้งานของชุดเครื่องมือ.....๙๕
4.วิธีการทดลองการเติมน้ำและสูบน้ำใต้ดิน.....๙๖
5.ทฤษฎีที่ใช้ในการทดลอง
5.1 การเติมน้ำและสูบน้ำใต้ดิน.....๙๙
5.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง f กับ R_e ในการไหลของน้ำใต้ดิน.....๑๐๐
6.การแสดงผลการทดลอง การเก็บและเรียกใช้ข้อมูลจากการทดลอง
6.1 การใช้งานเครื่อง Data logger.....๑๐๑
6.2 การใช้งานโปรแกรม Data logging.....๑๐๖
7.การบันทึกผลการทดลองและตัวอย่าง
7.1 ใบบันทึกผลการทดลอง.....๑๑๔
7.2 ตัวอย่างผลการทดลอง.....๑๑๕
8.ข้อควรระวังในการใช้ชุดเครื่องมือและการบำรุงรักษา
8.1 ข้อควรระวังในการใช้.....๑๑๖
8.2 การบำรุงรักษา.....๑๑๖
9.source code ของโปรแกรม Data logging.....๑๑๘

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

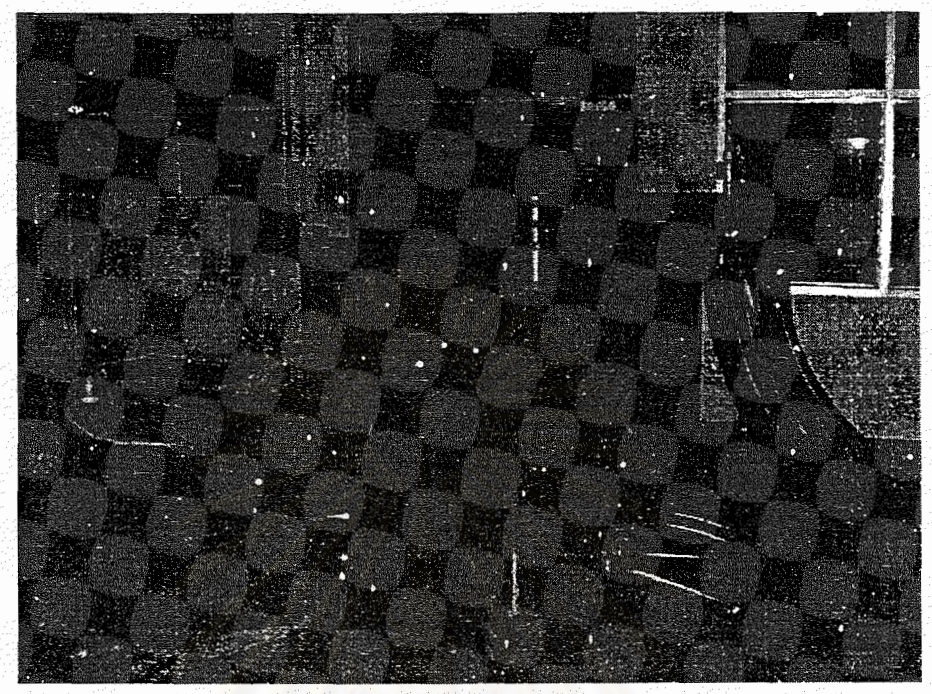
เครื่องจำลองการสูบน้ำและการเติมน้ำใต้ดิน เป็นชุดเครื่องมือสำหรับทดลองการเติมน้ำและสูบน้ำใต้ดินผ่านทางบ่อบาดาล ในชั้นน้ำภายใต้แรงดัน(confined aquifer) ภาพรวมของชุดเครื่องมือแสดงในรูปที่ ฎ-1 เครื่องมือแบ่งเป็น 3 ส่วนหลักๆ ได้แก่

1) แบบจำลองชั้นน้ำ-บ่อบาดาล เป็นการจำลองลักษณะของบ่อบาดาลและชั้นน้ำโดยใช้ทรายขนาดต่างๆแทนวัสดุชั้นน้ำ ซึ่งชั้นน้ำที่จำลองขึ้นเป็นชั้นน้ำภายใต้แรงดัน

2) ระบบหมุนเวียนน้ำและฝายวัดอัตราการไหล การหมุนเวียนน้ำในการทดลองอาศัยแรงขับจากเครื่องสูบน้ำ สามารถควบคุมปริมาณน้ำและทิศทางการไหลของน้ำได้ โดยที่อัตราการไหลในการทดลองจะวัดโดยฝายวัดอัตราการไหล(weir)

3) ระบบควบคุม วัดและเก็บข้อมูล ใช้การทำงานร่วมกันระหว่างตัวปรับความเร็วรอบมอเตอร์ของเครื่องสูบน้ำ(inverter)และวาล์วควบคุม(control valve) ในการควบคุมอัตราการไหลและระดับความดันในการทดลอง ใช้ Data logger ในการเก็บและแสดงผลข้อมูลอัตราการไหลและระดับความดัน และใช้ pressure sensor เป็นตัวว่าค่าความดันในชั้นน้ำ ขณะที่ค่าอัตราการไหลในการทดลองจะประยุกต์ใช้ฝายวัดอัตราการไหล(weir) โดยใช้ pressure sensor วัดระดับน้ำเหนือฝายแล้วแปลงค่าเป็นอัตราการไหลต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ฎ-1 ภาพรวมของชุดเครื่องมือ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

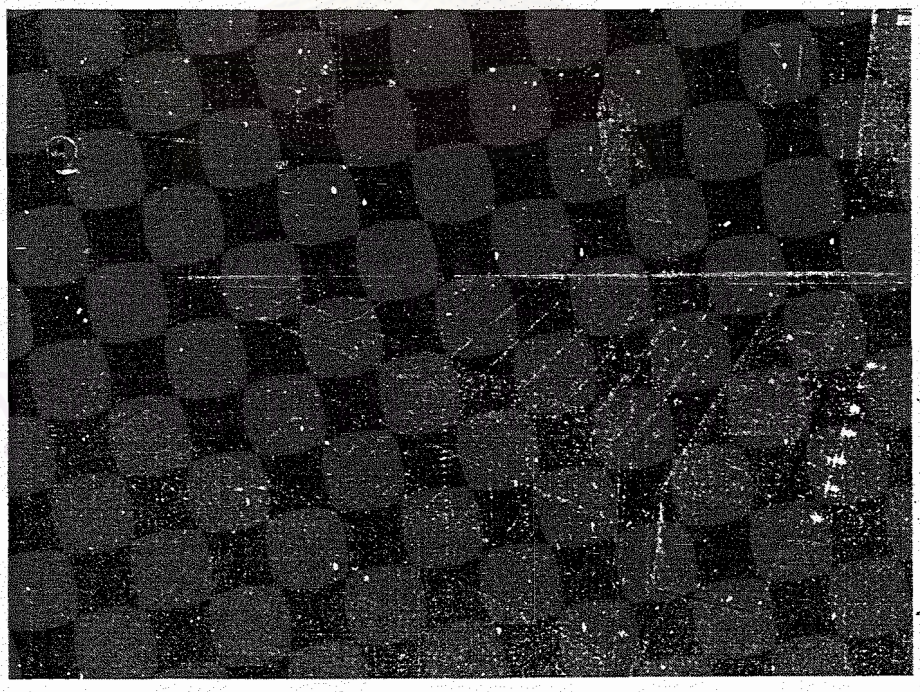
บทที่ 2
รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้

รายละเอียดของอุปกรณ์และส่วนประกอบของชุดเครื่องมือ มีดังนี้

2.1 แบบจำลองบ่อบาดาล-ชั้นน้ำ

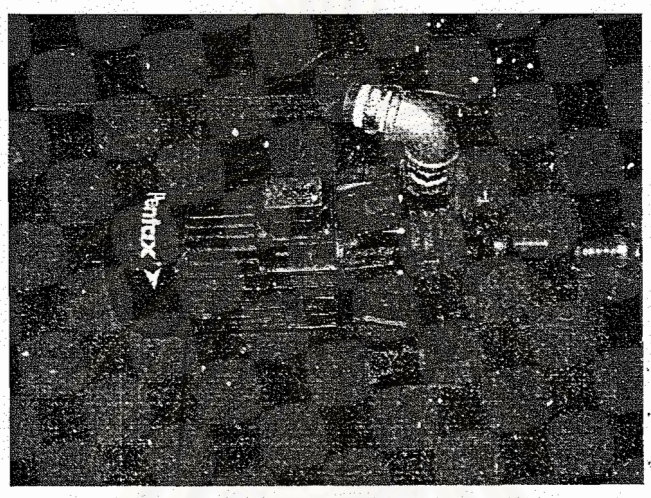
แบบจำลองบ่อบาดาลชั้นน้ำเป็นการจำลองการไหลในแนวรัศมี มีลักษณะของชั้นน้ำเป็นรูปส่วนหนึ่งของวงกลม ที่มีมุมที่จุดศูนย์กลาง 30 องศา รัศมี 2 เมตร ความหนา 0.2 เมตร มีโครงเป็นเหล็กด้านหลังและด้านล่างของแบบจำลองเป็นแผ่นเหล็ก แต่ด้านหน้าและด้านบนของแบบจำลองทำด้วยพลาสติกใสเพื่อใช้สังเกตการไหลของน้ำใต้ดิน

เพื่อให้บ่อบาดาลทดลองมีความสอดคล้องกับชั้นน้ำจำลอง จึงทำบ่อบาดาลทดลองเป็นรูปส่วนหนึ่งของวงกลม ที่มีมุมที่จุดศูนย์กลาง 30 องศา รัศมี 0.2 เมตร ความสูง 0.4 เมตร โดยทำจากแผ่นเหล็ก เจาะช่องและติดตะแกรงบริเวณที่ติดกับชั้นน้ำ ซึ่งเป็นการจำลองสภาพบ่อบาดาลที่มีท่อกรองตลอดความลึกชั้นน้ำ(Fully Penetrated Well) ลักษณะของแบบจำลองบ่อบาดาลชั้นน้ำแสดงในรูปที่ ฎ-2



รูปที่ ฎ-2 รูปถ่ายแบบจำลองบ่อบาดาล-ชั้นน้ำ

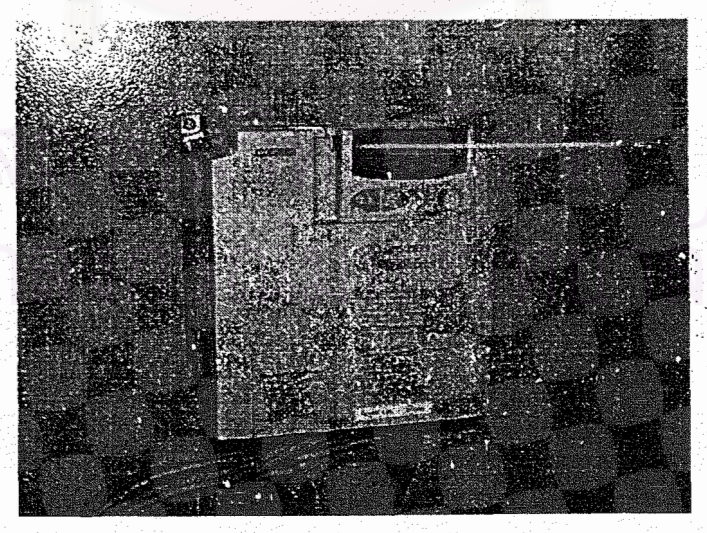
2.2 **เครื่องสูบน้ำ** ใช้เครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง(Centrifugral Pump) ยี่ห้อ "Pentax" รุ่น CB400 ที่สามารถให้เฮดด้านส่งสูงสุดเท่ากับ 50 เมตรของน้ำ และอัตราการไหลสูงสุดเท่ากับ 150 ลิตรต่อนาที ที่ความเร็วรอบ 2850 รอบต่อนาที ขับเคลื่อนโดยมอเตอร์ไฟฟ้า ขนาด 3 กิโลวัตต์(4 แรงม้า) ดังแสดงในรูปที่ ฎ-3 ใช้ไฟ 380 โวลต์ 3 เฟส 50 H_z



หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ฎ-3 เครื่องสูบน้ำ

2.3 **ตัวปรับความเร็วรอบมอเตอร์เครื่องสูบน้ำ** ใช้ยี่ห้อ " Mitsubishi" รุ่น FR-E540-3.7 K ชนิด 3 เฟส ขนาด 3.7 กิโลวัตต์ ดังแสดงในรูปที่ ฎ-4



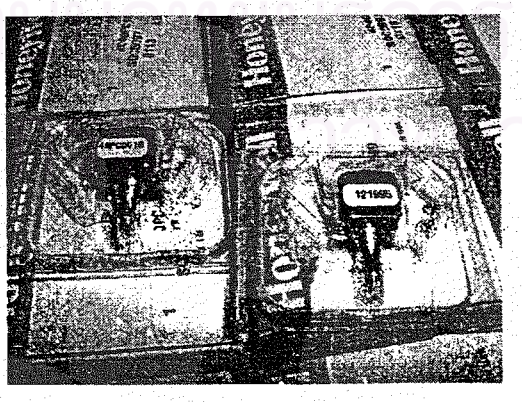
รูปที่ ฎ-4 ตัวปรับความเร็วรอบมอเตอร์เครื่องสูบน้ำ

2.4 อุปกรณ์วัดความดันน้ำ ใช้เซ็นเซอร์วัดความดัน(pressure sensor) ชนิด Piezoelectric ยี่ห้อ "Honeywell" มีรายละเอียดดังนี้

1) ใช้รุ่น 4040PC100G5D จำนวน 15 ตัว วัดแรงดันน้ำได้ในช่วง 0 ถึง 100 psi(0-69 mH_2O) สำหรับวัดแรงดันน้ำที่จุดต่างๆในแบบจำลอง ได้แก่ ในชั้นน้ำ13 ตัว ที่บ่อบาดาล 1 ตัวและที่ท่อส่งของเครื่องสูบน้ำ 1 ตัว ลักษณะของเซ็นเซอร์ 4040PC100G5D แสดงในรูปที่ ฎ-5

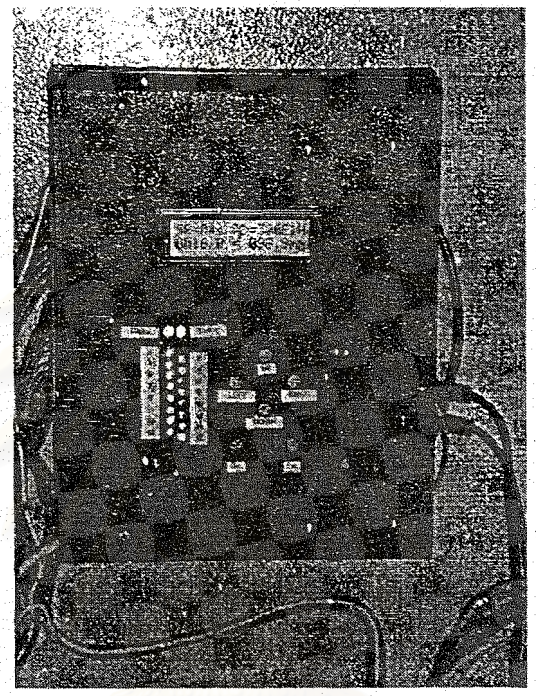
2) ใช้รุ่น 40PC001B จำนวน 1 ตัว วัดแรงดันน้ำได้ในช่วง +/- 50 mmHg(+/- 0.67 mH_2O) สำหรับวัดระดับน้ำหน้าฝายเพื่อใช้ในการคำนวณอัตราการไหล ลักษณะของเซ็นเซอร์ 40PC001B แสดงในรูปที่ ฎ-6

รูปที่ ฎ-5 เซ็นเซอร์ 4040PC100G5D



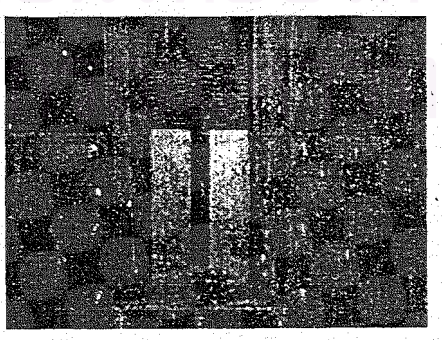
รูปที่ ฎ-6 เซ็นเซอร์ 40PC001B

2.5 Data Logger วัดความดันได้ 16 ช่องสัญญาณ มีความจุหน่วยความจำ 6,721 ชุด (39 ไบต์ ต่อชุด) ความแม่นยำในการวัด(accuracy) 0.1 % การส่งข้อมูลให้กับคอมพิวเตอร์มีทั้งแบบ Real time และแบบ All memory load ขึ้นอยู่กับการใช้งานโปรแกรม Data logging ลักษณะของ Data logger แสดงในรูปที่ ฎ-7



รูปที่ ฎ-7 ภาพแสดง Data logger

2.6 **อุปกรณ์วัดอัตราการไหล** ใช้ฝายวัดอัตราการไหล ที่เป็นฝายสันคม ทำจากแผ่นสแตนเลส มีช่องเปิดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า สูง 20 เซนติเมตร ความกว้างสันฝาย 2.12 เซนติเมตร วัดอัตราการไหลได้สูงสุด 3.6 ลิตรต่อวินาที ฝายวัดอัตราการไหลติดตั้งในรางวัดอัตราการไหล ดังแสดงในรูปที่ ฎ-8



รูปที่ ฎ-8 ภาพแสดงฝายวัดอัตราการไหล

บทที่ 3
ขอบเขตการใช้งานของชุดเครื่องมือ

ในการศึกษาเรื่องการไหลของน้ำใต้ดินเมื่อทำการสูบน้ำและเติมน้ำผ่านบ่อบาดาลในชั้นน้ำภายใต้แรงดัน จะมีตัวแปรหลักที่ต้องพิจารณา 2 ตัวแปร ได้แก่

1) ระดับความดันหรือเฮด(pressure Head) หมายถึง ระดับความดันของน้ำในชั้นน้ำ (piezometric head) และความดันของน้ำในบ่อบาดาล

2) อัตราการไหล(discharge) หมายถึง อัตราที่น้ำใต้ดินเคลื่อนที่ในชั้นน้ำ ซึ่งจะเท่ากับอัตราการสูบหรือเติมน้ำผ่านบ่อบาดาล อัตราการไหลจะมีความสัมพันธ์กับค่า Reynolds Number (R_e)

โดยที่เครื่องจำลองการสูบน้ำและการเติมน้ำใต้ดิน สามารถทำการทดลองได้ในช่วงระดับความดัน(H) ตั้งแต่ 0 ถึง 20 เมตรของน้ำ(ที่ตำแหน่งบ่อบาดาล) อัตราการไหลตั้งแต่ 0 ถึง 3.6 ลิตรต่อวินาที และ Reynolds Number (R_e) ตั้งแต่ 0 ถึง 170

ดังที่ได้กล่าวในตอนต้นว่า การไหลของน้ำใต้ดินมีตัวแปรที่ต้องพิจารณา 2 ตัวแปร ได้แก่ระดับความดันหรือเฮดและอัตราการไหล ซึ่งชุดเครื่องมือที่ออกแบบไว้สามารถวัดค่าตัวแปรทั้งสองได้ จึงสามารถนำชุดเครื่องมือไปดัดแปลงเพื่อศึกษาการไหลของน้ำใต้ดินในรูปแบบอื่น เช่น การศึกษาการกระจายความดันของน้ำเมื่อน้ำใต้ดินไหลผ่านฐานรากอาคาร ซึ่งช่วยในการออกแบบฐานรากให้มีความถูกต้องกับสภาพใช้งานจริงมากขึ้น แต่ในที่นี้จะเน้นไปที่การศึกษาการไหลของน้ำใต้ดินเข้าและออกจากบ่อบาดาล เมื่อทำการสูบและเติมน้ำใต้ดินตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
วิธีการทดลองการเติมน้ำและสูบน้ำใต้ดิน

การทดลองการเติมน้ำและสูบน้ำใต้ดินจะมีแผนผังการทำงาน(schematic diagram) ดังรูปที่ ฎ-9 มีขั้นตอนในการทดลองดังนี้

1. การเตรียมการก่อนการทดลอง

1.1) เตรียมวัสดุทรายชั้นน้ำที่จะใช้ในการทดลอง

1.2) บรรจุทรายชั้นน้ำลงในแบบจำลอง ทำการขังน้ำเพื่อให้วัสดุแน่น

1.3) เติมน้ำในถังเก็บน้ำให้เต็ม

1.4) ติดตั้งเซนเซอร์วัดความดันในจุดต่างๆที่จะทำการวัดความดันและตรวจดูการเชื่อมต่อของสายสัญญาณจากเซนเซอร์วัดความดันมายังเครื่องdata logger

1.5) ตรวจสอบการเชื่อมต่อสาย RS-232 จากเครื่องdata logger มายังเครื่องคอมพิวเตอร์

1.6) เปิดวาล์วควบคุม 1 และ 3 จนสุด และปิดวาล์วควบคุม 2

2. การทดลองการเติมน้ำใต้ดิน

2.1) เชื่อมต่อท่อต่างๆตามรูปที่ ฎ-9ก. โดยเชื่อมต่อท่อจากเครื่องสูบน้ำไปยังบ่อบาดาล และเชื่อมต่อท่อจากด้านท้ายแบบจำลองไปยังรางวัดอัตราการไหล

2.2) เปิดสวิตช์เครื่องสูบน้ำ ตัวปรับความเร็วรอบ เครื่องdata logger และเปิดโปรแกรม data logging ในเครื่องคอมพิวเตอร์

2.3) เดินเครื่องเครื่องสูบน้ำ โดยกดปุ่ม"Run" ที่อยู่ภายนอกตู้ควบคุม น้ำจะไหลผ่านระบบท่อเข้าสู่แบบจำลองทางด้านบ่อบาดาล ค่อยๆหรี่วาล์วควบคุม 1 ขณะเดียวกันก็ค่อยๆเปิดวาล์วควบคุม 2 จนสุด ปรับตัวปรับความเร็วรอบและวาล์วควบคุม 3 จนได้อัตราการไหลและความดันในบ่อบาดาลตามที่ต้องการ

การปรับตัวปรับความเร็วรอบและวาล์วควบคุม 3 อาจดูได้แผนผังควบคุมหรือโปรแกรม data logging โดยต้องรอจนกระทั่งระดับความดันในชั้นน้ำไม่เปลี่ยนแปลง(Steady State) จึงทำการบันทึกค่าอัตราการไหลและค่าระดับความดันที่จุดต่างๆทั้งในบ่อน้ำบาดาล ชั้นน้ำและด้านท้ายแบบจำลอง ซึ่งค่าอัตราการไหลและความดันที่ตำแหน่งต่างๆ ดูได้ในเครื่องdata loggerหรือในโปรแกรม data logging ซึ่งจะกล่าวต่อไปในบทที่ 6

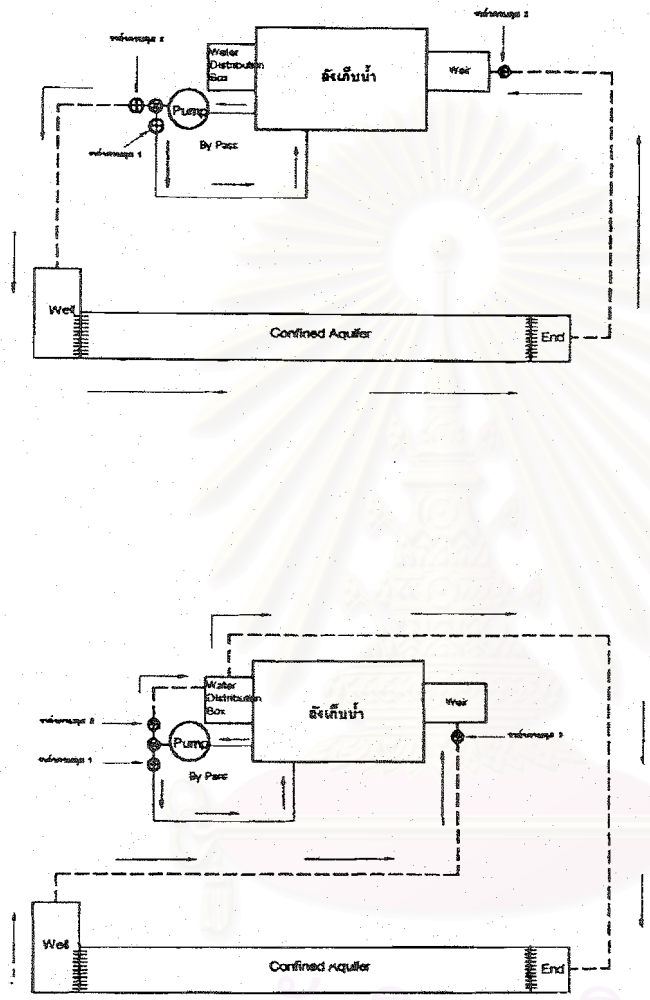
2.4) เมื่อทดลองเสร็จแล้วให้กดปุ่ม"Stop" ที่อยู่ภายนอกตู้ควบคุม และปิดสวิตซ์เครื่องสูบน้ำ ตัวปรับความเร็วรอบและเครื่องdata logger แล้วให้เปิดเปิดวาล์วควบคุม 1 และ 3 จนสุด และปิดวาล์วควบคุม 2

3. การทดลองการสูบน้ำใต้ดิน

วิธีการทดลองจะเหมือนกับการทดลองการเติมน้ำเพียงแต่จะต่างกันในส่วนของการเชื่อมต่อท่อ โดยการเชื่อมต่อท่อต่างๆทำตามรูปที่ ฎ-9ข. โดยเชื่อมต่อท่อจากเครื่องสูบน้ำไปยังกล่องกระจายน้ำ และจากกล่องกระจายน้ำไปยังด้านท้ายแบบจำลอง และเชื่อมต่อท่อจากบ่อบาดาลไปยังรางวัดอัตราการไหล

4. การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในกรณีที่ทำการทดลองโดยใช้วัสดุชั้นน้ำหลายๆขนาด และอัตราการไหลและความดันหลายๆค่า สามารถนำผลการทดลองที่ได้มาทำการวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ของคุณสมบัติของวัสดุชั้นน้ำที่มีผลต่อการเติมน้ำและการสูบน้ำใต้ดิน และสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างการเติมน้ำและการสูบน้ำใต้ดินได้



ก. การทดลองการเติมน้ำ

ข. การทดลองการสูบน้ำ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ฎ-9 แผนผังการทำงานของการทดลองการเติมและสูบน้ำใต้ดิน

บทที่ 5
ทฤษฎีที่ใช้ในการทดลอง

5.1 การเติมน้ำและสูบน้ำใต้ดิน

เมื่อทำการสูบน้ำและเติมน้ำผ่านบ่อน้ำบาดาล โดยที่การไหลที่เกิดขึ้นสอดคล้องกับกฎของดาร์ซีหรือสมการการไหลของดาร์ซี จะเกิดกรวยความดันลด(Cone of Depression) และกรวยความดันเพิ่ม(Cone of Recharge) ที่มีลักษณะเหมือนกัน เมื่อถึงสภาวะคงตัว (Steady State) ดังแสดงในรูปที่ ฎ-10 และใช้ Thiem's Equation ในการอธิบาย ดังนี้

การสูบน้ำ $$Q_d = \frac{2\pi Kb(h_0 - h_w)}{\ln(r_0 / r_w)}$$

การเติมน้ำ $$Q_r = \frac{2\pi Kb(h_w - h_0)}{\ln(r_0 / r_w)}$$

เมื่อ Q_d คือ อัตราการสูบน้ำ(m^3/s)

Q_r คือ อัตราการเติมน้ำ(m^3/s)

K คือ ค่าความนำชลศาสตร์(m/s)

r_0 คือ รัศมีที่ได้รับอิทธิพล(m)

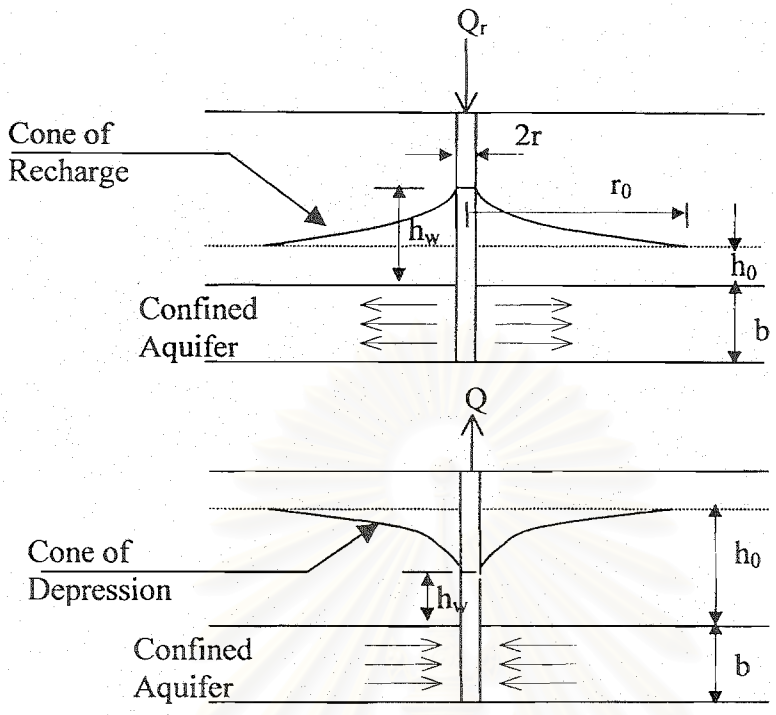
r_w คือ รัศมีของบ่อน้ำบาดาล(m)

h_0 คือ ระดับความดันน้ำเดิม(m)

h_w คือ ระดับน้ำในบ่อน้ำบาดาล(m)

b คือ ความหนาของชั้นน้ำ(m)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ฎ-10 กรวยความดันเพิ่ม(Cone of Recharge) และกรวยความดันลด(Cone of Depression)

5.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง friction factor(f) และ Reynolds Number(R_e) ในการไหลของน้ำใต้ดิน

เนื่องจากการนำความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการไหลกับความชันชลศาสตร์ในการไหลของน้ำใต้ดินไปใช้งาน จะไม่ค่อยสะดวก จึงได้มีผู้ทำการศึกษาเพื่อหาตัวแปรไร้หน่วยที่สามารถอธิบายถึงความสัมพันธ์ดังกล่าว โดยใช้เทอม Friction factor และ Reynolds number ที่เป็นตัวแปรไร้หน่วยมาอธิบาย ในลักษณะเดียวกับMoody Diagramของการไหลในท่อ แต่สมการที่ได้รับความนิยมคือสมการของ Todd ดังนี้

Characteristic Length(d) = d_{10}

Friction Fractor (f) , $f = \frac{dP}{dL}\left(\frac{d_{10}}{2\rho v^2}\right)$

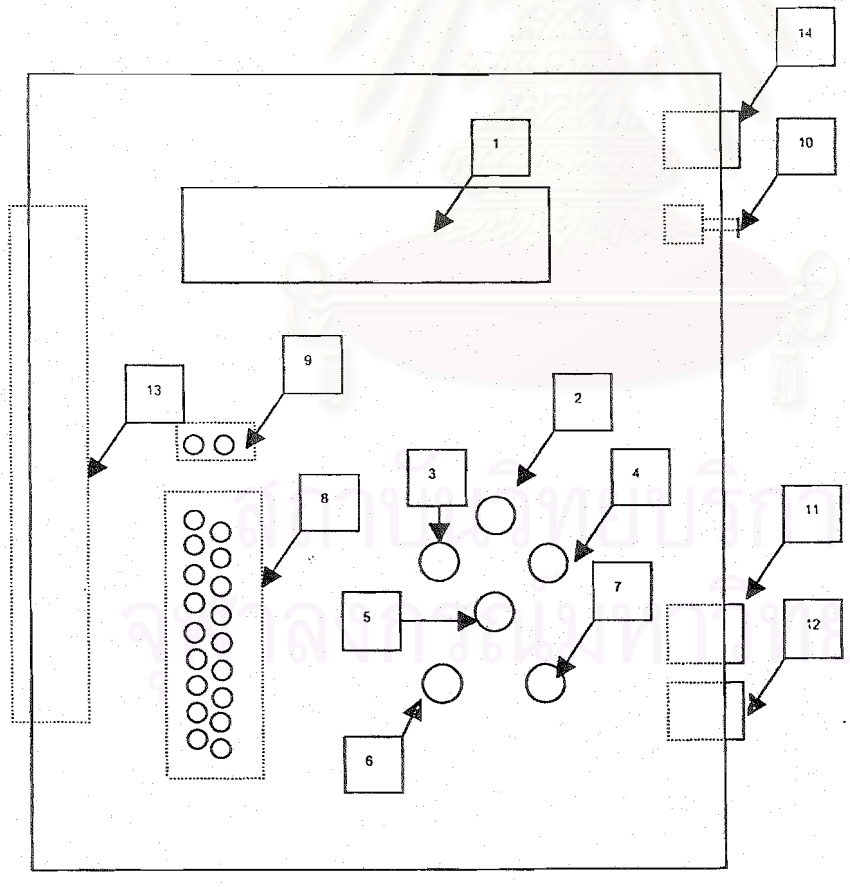
Raynolds Number (Re) , $R_e = \frac{\rho v d_{10}}{\mu}$

บทที่ 6
การแสดงผลการทดลอง การเก็บและเรียกใช้ข้อมูลจากการทดลอง

การแสดงผลการทดลอง การเก็บและเรียกใช้ข้อมูลจากการทดลอง ได้แก่อัตราการไหลและค่าความดันจากการทดลอง ต้องใช้การทำงานร่วมกันระหว่างเครื่อง data logger และโปรแกรม data logging โดยที่เครื่อง data logger สามารถแสดงและเก็บผลการทดลองได้ แต่การที่จะนำผลการทดลองไปใช้ภายหลังต้องใช้โปรแกรม data logging ในการดึงข้อมูลออกไป ขณะที่โปรแกรม data logging จะทำงานไม่ได้ ถ้าเครื่องdata logger ไม่เปิดอยู่ใน Mode 3 (การเก็บข้อมูล) การใช้งานเครื่อง data logger และโปรแกรม data logging มีรายละเอียดดังนี้

6.1 การใช้งานเครื่อง Data Logger

1.ลักษณะภายนอกของเครื่อง Data logger แสดงในรูปที่ ฎ-11



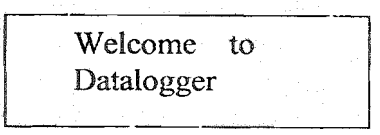
NO.1 จอ LCD
NO.2 UP Switch
NO.3 LEFT Switch
NO.4 RIGHT Switch
NO.5 DOWN Switch
NO.6 OK. Switch
NO.7 Esc. Switch
NO.8 ไฟแสดงสถานะของ Pressure sensor โดย CH1 อยู่บนสุดด้านซ้าย CH2 อยู่ถัดลงมาด้านขวา และเรียงในลักษณะสลับฟันปลาจนถึง CH16
NO.9 ไฟแสดงไฟเลี้ยงของวงจร โดยด้านขวาแสดงสถานะไฟเลี้ยงส่วนAnalog และด้านซ้ายแสดงไฟเลี้ยงส่วน Digital
NO.10 RESET Switch
NO.11 Adaptor Jack ของส่วน Analog
NO.12 Adaptor Jack ของส่วน Digital(ทั้ง NO.11 และ NO.12 ใช้ Adapter ชนิดไฟเลี้ยง 12 V ขั้วในเป็นบวก)
NO.13 Socket สำหรับรับสัญญาณจาก Pressure sensor
NO.14 ขั้วต่อ ISOLATER

รูปที่ ฎ-11 ลักษณะภายนอกของเครื่อง Data Logger

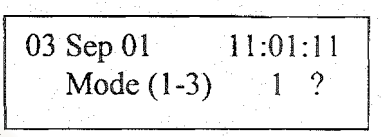
2. การใช้งานในรูปแบบต่างๆ

2.1 การดูค่าข้อมูลแบบปกติ(MODE 1)

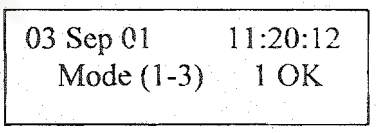
1. หลังจากการจ่ายไฟ ถ้าเครื่องทำงานปกติจะปรากฏข้อความบนจอ LCD ดังรูป



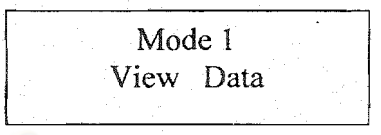
2. หลังจากรอประมาณ 3 วินาที หน้าจอจะเปลี่ยนไปแสดงในหน้าเมนูหลัก (Main Manu) โดยในเมนูหลักจะแสดงวัน เดือน ปีและเวลาในปัจจุบัน ในบรรทัดล่างสุดจะให้เลือกรูปแบบการทำงาน (Mode) ซึ่งมี 3 รูปแบบและให้ผู้ใช้เลือกโดยกดปุ่มขึ้นหรือลงเพื่อเลือกและกดปุ่ม OK เพื่อยืนยัน



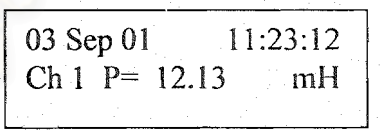
3. เมื่อผู้ใช้ต้องการดูข้อมูลแบบปกติ (Mode 1) ให้กดปุ่มขึ้นหรือลงจนได้ Mode1 จากนั้นกด OK.



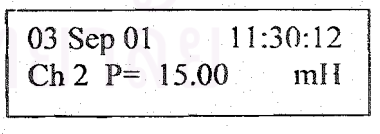
4. หลังจากกด OK.แล้ว ข้อความในจอ LCDจะเปลี่ยนเป็นข้อความแสดงการทำงานในรูปแบบการดูข้อมูลแบบปกติ (VIEW DATA)



5. หลังจากนั้นประมาณ 3 วินาที หน้าจอจะแสดงข้อมูลปกติที่ประกอบด้วยเวลาในปัจจุบัน ช่องสัญญาณที่แสดงค่าความดันและค่าความดันในหน่วยเมตรของน้ำ ดังเช่น ในรูปเป็นข้อมูลของวันที่ 3 Sep 2001 เวลา 11:23:12 น. ที่ช่องสัญญาณ 1 มีความดัน 12.13 เมตรของน้ำ



6. ผู้ใช้สามารถกดปุ่ม Up เพื่อเปลี่ยนช่องสัญญาณลำดับที่เพิ่มขึ้นและกด DOWNเพื่อเปลี่ยนช่องสัญญาณในลำดับที่ต่ำลง



7. เมื่อต้องการกลับเข้าสู่เมนูหลัก (Main Manu)ในข้อ 2 สามารถทำได้โดยการกดปุ่ม Esc.

2.2 การเก็บข้อมูลลงในหน่วยความจำ(MODE 2)

8. การเข้าสู่การทำงานในการเก็บข้อมูลสามารถทำได้โดยเริ่มต้นจากข้อ 2 และกดปุ่ม UP หรือ DOWN เพื่อให้เป็นการทำงานในรูปแบบการเก็บข้อมูล (MODE 2) จากกด OK.

03 Sep 01 11:30:21 Mode (1-3) 2 OK

9. นอกจากขั้นตอนในข้อที่ 8 แล้ว ผู้ใช้อาจเข้าถึงการทำงานในการเก็บข้อมูลได้ด้วยการกดOK. แทนการกด Esc. ในขั้นตอนที่ 7
10. หลังจากขั้นตอนที่ 8 และ 9 จะมีมีข้อความแสดงการทำงานในรูปแบบการเก็บข้อมูล(SAVE DATA) บนหน้าจอ

Mode 2 Save Data

11. ต่อมาจะเป็นการเก็บค่าความเร็วของมอเตอร์ของเครื่องสูบน้ำในหน่วย Hz โดยผู้ใช้สามารถกดปุ่มขึ้นหรือลงเพื่อเพิ่มหรือลดตัวเลขและกดปุ่ม LEFTหรือ RIGHT ในการเลือกหลักที่จะทำการเปลี่ยนค่า โดยสามารถออกจาก Modeนี้โดยการกด Esc.

Motor speed Speed = 50.00 HZ

12. เมื่อทำการตั้งค่าความเร็วรอบมอเตอร์ของเครื่องสูบน้ำเสร็จ ให้กด OK จะเข้าสู่การตั้งช่วงเวลาในการเก็บข้อมูล โดยจะแบ่งเป็นจำนวนช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลและหน่วยของเวลาได้โดยกดปุ่ม UPหรือ DOWN และเลือกที่จะเปลี่ยนขนาดช่วงเวลาในการเก็บหรือหน่วยเวลาในการเก็บด้วยปุ่ม LEFT และ RIGHT

Sampling Rate # 01 # sec

13. เมื่อได้ขนาดของช่วงเวลาและหน่วยของช่วงเวลาเรียบร้อยแล้วจึงกดOKเพื่อตั้งจุดเริ่มต้นในการเก็บข้อมูล หรืออาจกด Esc.เพื่อไปยังข้อ 11 อีกครั้งหากเกิดการตั้งค่าความเร็วมอเตอร์ผิด

Start Address # New # Continued

14. ในการตั้งจุดเริ่มต้นของหน่วยความจำจะมี 2 แบบ ได้แก่ new คือ การเริ่มจุดเริ่มต้นที่ตำแหน่ง 0 และ continued คือ การเก็บข้อมูลต่อจากข้อมูลก่อนหน้านี้ โดยการเลือกจะใช้กดปุ่ม LEFT หรือ RIGHT ในการการเลือก

Start Address
New # Continued #

15. ผู้ใช้สามารถกดปุ่มEsc.หากไม่แน่ใจในการตั้งค่าเพื่อไปตั้งค่าต่างๆใหม่ แต่ถ้ามั่นใจแล้วให้กดปุ่มOK.ซึ่งจะเป็นการเริ่มต้นการเก็บข้อมูลโดยในตอนเริ่มแรก หน้าจอจะแสดงที่อยู่เริ่มต้นในการเก็บข้อมูลและอัตราการเก็บข้อมูล

Start at 00000H
Sampling = 03 S

16. ในขณะการเก็บข้อมูลจะมีข้อมูลอยู่บนหน้าจอคือ อัตราในการเก็บข้อมูล(SR) , ที่อยู่ที่เก็บข้อมูล(AD), ช่องสัญญาณ(Ch)และค่าความดันที่อ่านได้(P) โดยที่อยู่ในการเก็บข้อมูลจะเปลี่ยนไปตลอดเวลาในการเก็บ

SR=01S AD=00381H
Ch 1 P= 00.00 mH

17. ผู้ใช้สามารถเลือกค่าแต่ละช่องสัญญาณได้โดยการกดปุ่ม UP หรือ DOWN

SR=01S AD=00729H
Ch 3 P= 12.23 mH

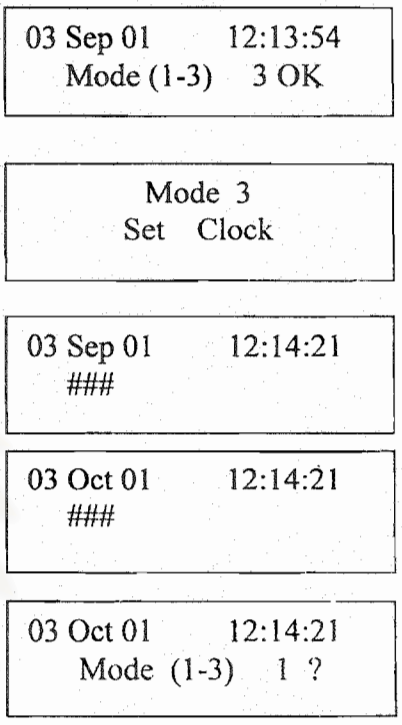
18. เมื่อผู้ใช้ทำการเก็บข้อมูลจนเป็นที่ต้องการแล้ว สามารถหยุดการเก็บข้อมูลโดยกดปุ่ม Esc. และหน้าจอจะแสดงค่าที่อยู่ชุดท้ายที่ทำการเก็บข้อมูล หลังจากนั้นจะเข้าสู่เมนูหลักในข้อ 2

Stop at AD=00279H
Ch 3 P= 12.23 mH

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 การตั้งค่าเวลา(MODE 3)

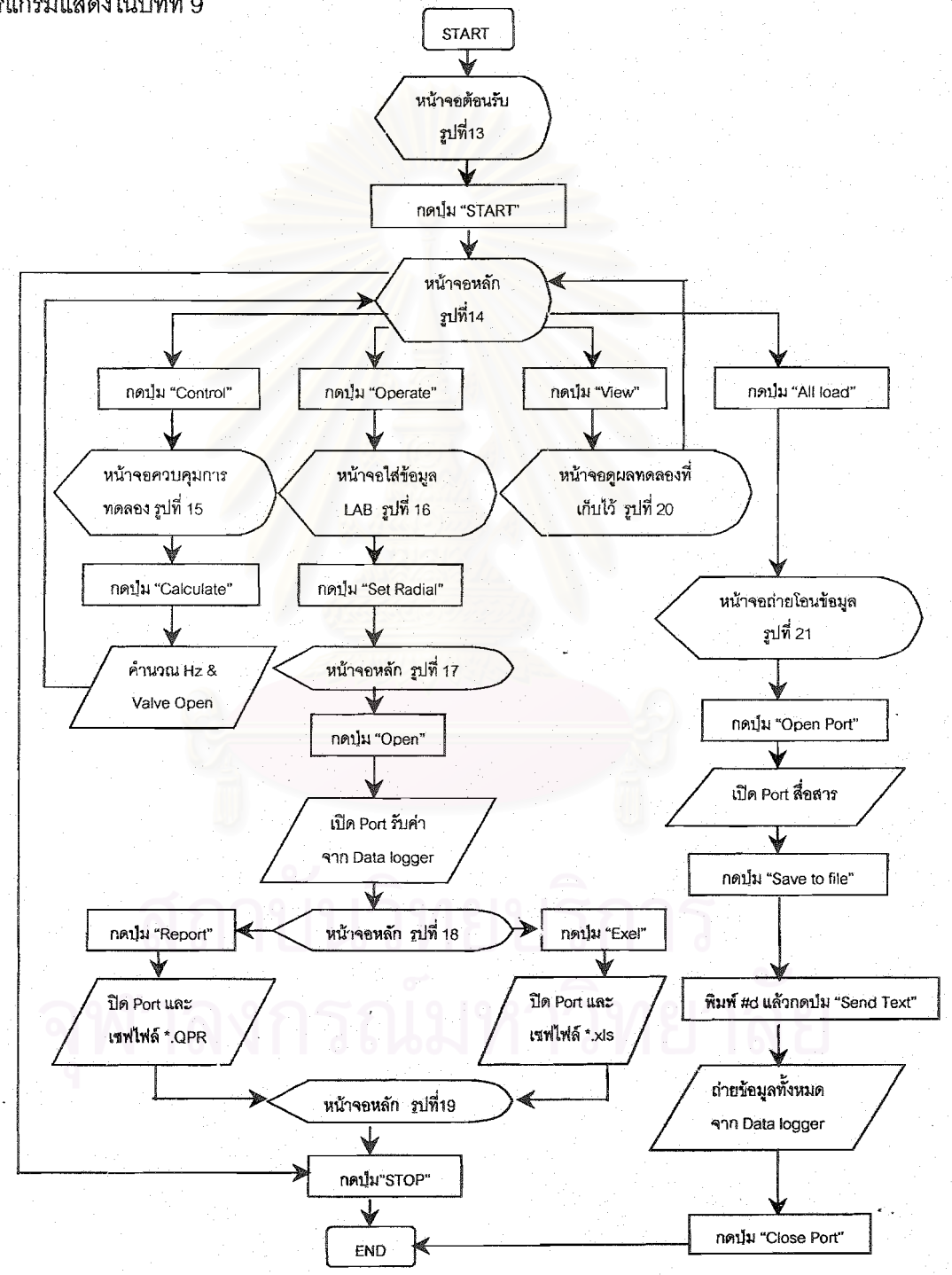
19. การเข้าสู่การตั้งเวลาสามารถทำได้โดยเริ่มต้นจากข้อ 2 และกดปุ่มUPเพื่อให้เป็นการทำงานในรูปแบบการตั้งเวลา(MODE 3)จากนั้นจึงกด OK.
20. หลังจากการกด OK. จะมีข้อความแสดงการทำงานในส่วนการตั้งเวลา(MODE 3)และทำการตั้งเวลา
21. ผู้ใช้จะเข้ามาสู่ส่วนการตั้งเวลาโดยสามารถที่จะเลือกตั้งวัน เดือน ปี หรือ ชั่วโมง นาที วินาที ได้โดยการกดปุ่มLEFTหรือ RIGHT โดยในบรรทัดที่ 2 จะมีตัวชี้อยู่
22. ผู้ใช้สามารถเพิ่มจำนวนในหน่วยเวลาต่างๆ ชนิดต่างๆ ได้โดยการกดปุ่มUPและDOWN
23. เมื่อทำการตั้งเวลาเสร็จแล้วให้กดปุ่มOKหรือ Esc.เพื่อทำการออกไปยังเมนูหลักในข้อที่ 2 และจะสังเกตได้ว่าเวลาได้ถูกตั้งเรียบร้อยแล้ว



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

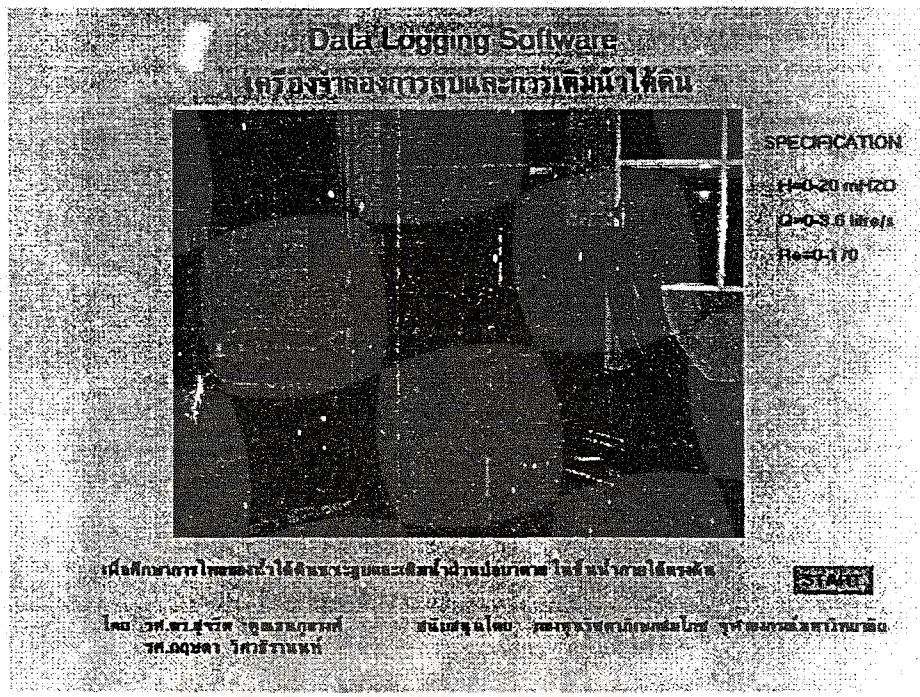
6.2 การใช้งานโปรแกรม data logging

โปรแกรม data logging มีแผนผังการทำงานแสดงในรูปที่ ฎ-12 โดยที่ source code ของโปรแกรมแสดงในบทที่ 9



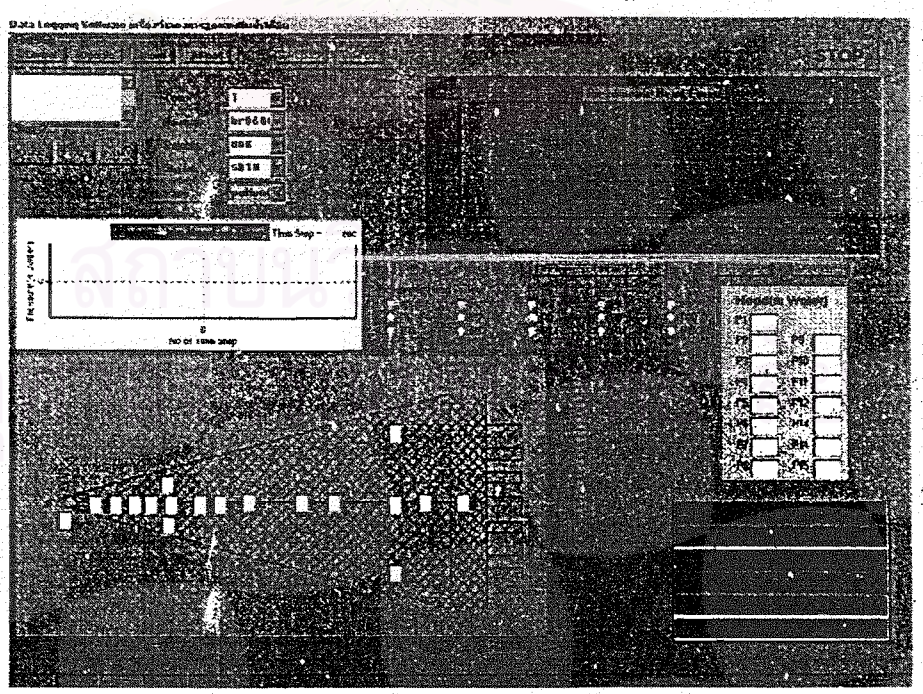
รูปที่ ฎ-12 แผนผังการทำงานของโปรแกรม data logging

เมื่อเปิดโปรแกรมขึ้นมาจะอยู่ที่หน้าจอต้อนรับ ดังแสดงในรูปที่ ฎ-13



รูปที่ ฎ-13 หน้าจอต้อนรับของโปรแกรม

เมื่อกดปุ่ม "START" จะเข้าสู่หน้าจอหลัก ดังแสดงในรูปที่ ฎ-14



รูปที่ ฎ-14 หน้าจอหลักของโปรแกรม data logging

ในขั้นตอนแรกจะต้องเลือกรูปแบบการใช้งานโปรแกรม ได้แก่ การควบคุมการทดลอง(กดปุ่ม"Control") การดูผลการทดลองแบบทันที(กดปุ่ม"Operate") การดูผลการทดลองย้อนหลัง(กดปุ่ม "Views") และการโหลดข้อมูลทั้งหมดจากเครื่องdata logger(กดปุ่ม "All load")

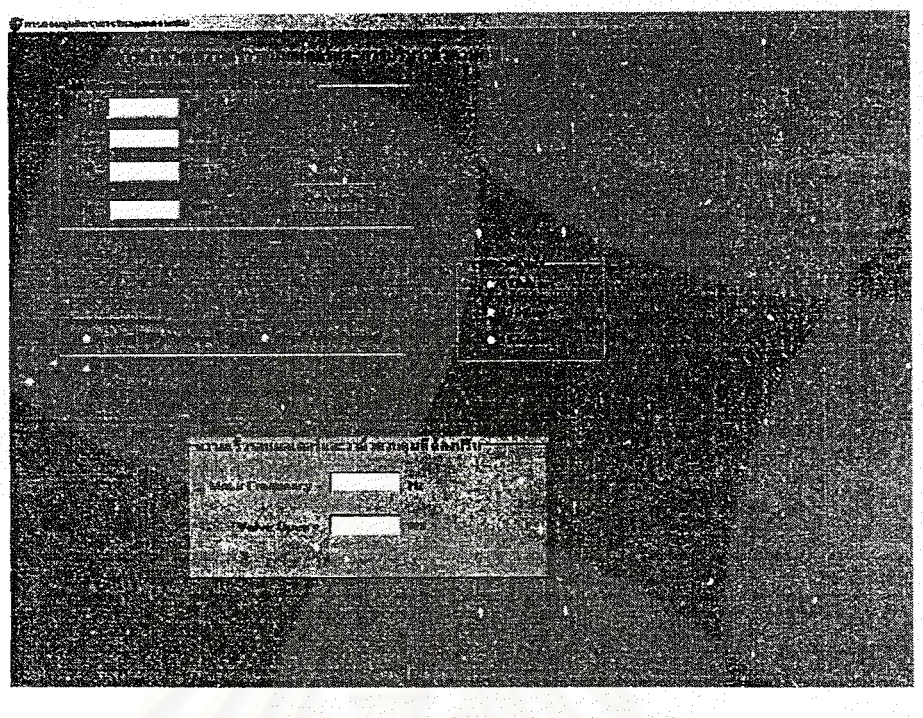
ซึ่งโปรแกรม data logging ในส่วนของการดูผลการทดลองแบบทันที(กดปุ่ม"Operate") และการโหลดข้อมูลทั้งหมดจากเครื่องdata logger(กดปุ่ม "All load") จะใช้งานได้ก็ต่อเมื่อ มีการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีโปรแกรมกับเครื่อง data logger และเลือกรูปแบบการใช้งานของเครื่อง data logger เป็นการเก็บข้อมูลลงในหน่วยความจำ(MODE 2) ขณะที่การควบคุมการทดลอง(กดปุ่ม"Control")และการดูผลการทดลองย้อนหลัง(กดปุ่ม "Views") สามารถทำได้ แม้จะไม่ได้มีการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับเครื่อง data logger

รายละเอียดการใช้งานโปรแกรมจะมี 4 รูปแบบดังนี้

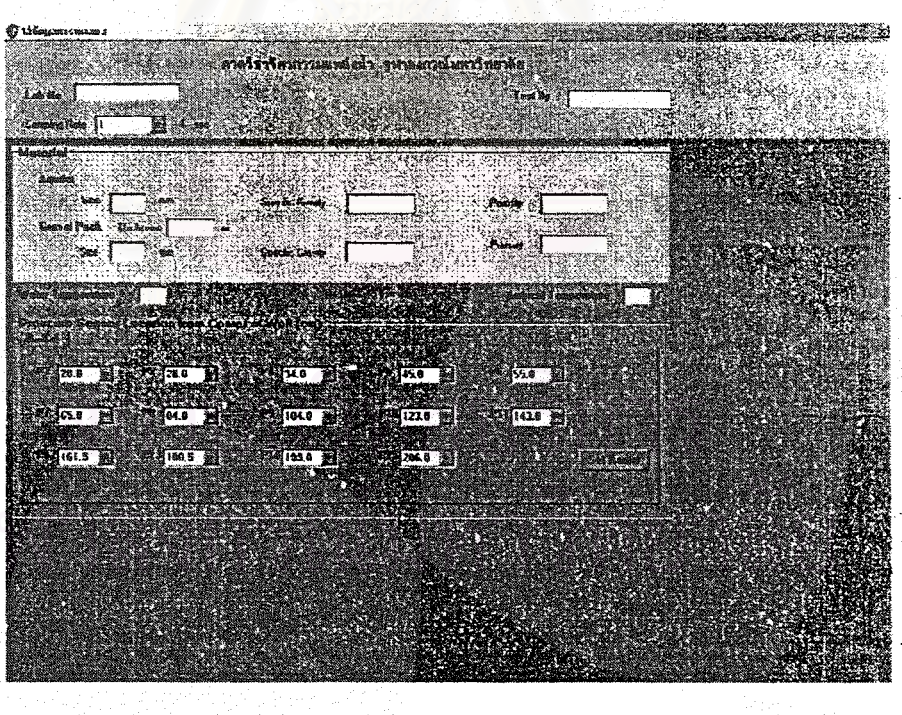
1. การควบคุมการทดลอง โดยกดปุ่ม"Control" ในช่อง"First Step" โปรแกรมจะทำการคำนวณหาความเร็วรอบหรือความถี่ในการหมุนของมอเตอร์เครื่องสูบน้ำ และการเปิดวาล์วควบคุม 3 (วาล์วควบคุมที่อยู่ในตำแหน่งก่อนถึงรางวัดอัตราการไหล) เพื่อให้ได้อัตราการไหลและความดันในตำแหน่งต่างๆตามต้องการ

เมื่อกดปุ่ม "Control" จะปรากฏหน้าจอในรูปที่ ฎ-15 โดยผู้ใช้จะต้องใส่ค่าอัตราการไหล(Q) เฮดในบ่อบาดาล(Hw) เฮดด้านท้าย(H0หรือHend)และเฮดของเครื่องสูบน้ำ(Hp)ที่ต้องการแล้วเลือกขนาดของทรายชั้นน้ำและประเภทของการทดลอง เมื่อกดปุ่ม "Calculate" โปรแกรมจะคำนวณหาความเร็วรอบมอเตอร์และวาล์วควบคุมที่ต้องปรับ โดยในเบื้องต้นนี้จะใช้ได้เฉพาะขนาดทรายชั้นน้ำขนาด 0.7 มิลลิเมตรเท่านั้น เนื่องจากทรายขนาดอื่นยังมิได้ทำการทดลอง

2. การดูผลการทดลองแบบทันที(real time) เมื่อกดปุ่ม"Operate" ในช่อง"First Step" จะเข้าสู่หน้าจอในรูปที่ ฎ-16 ซึ่งเป็นการใส่ข้อมูลทั่วไปของการทดลอง ได้แก่ ชื่อการทดลอง ชื่อผู้ทำการทดลอง อัตราในการเก็บข้อมูล(sampling rate) คุณสมบัติของทรายชั้นน้ำและกรวดกรุบ่อบาดาลที่ใช้ในการทดลอง ตำแหน่งในการติดตั้งเซนเซอร์วัดความดัน เมื่อใส่ข้อมูลครบถ้วนแล้วก็กดปุ่ม "Set Radial"

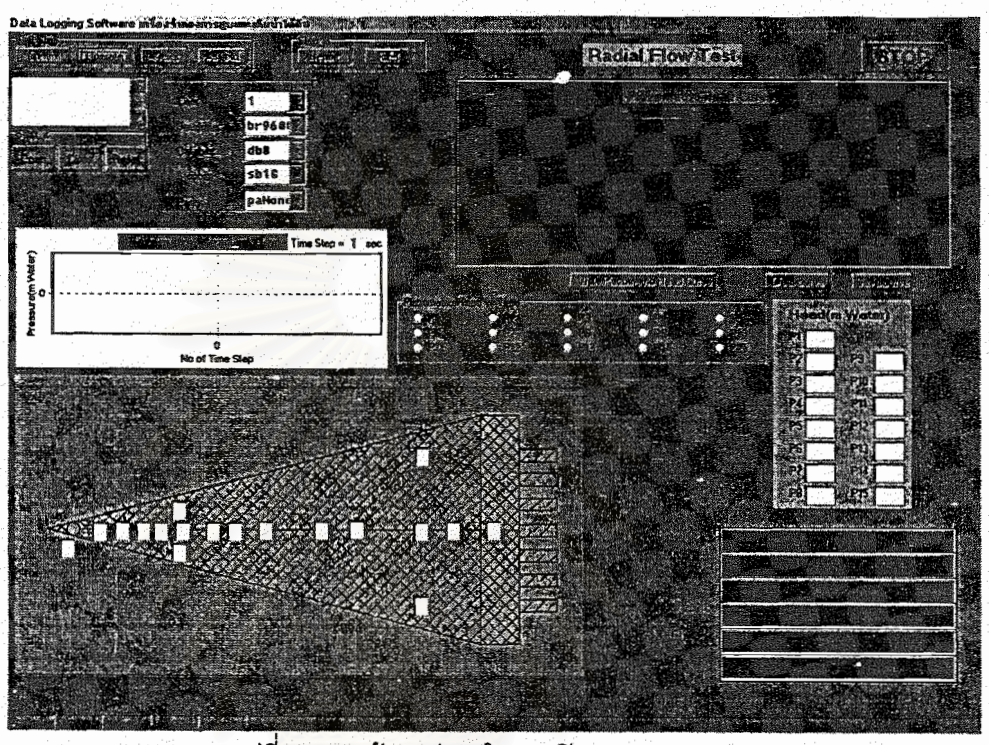


รูปที่ ฎ-15 หน้าจอในส่วนของการควบคุมอัตราการไหลและความดัน



รูปที่ ฎ-16 หน้าจอสำหรับการใส่ข้อมูลของการทดลอง

หลังจากกดปุ่ม "Set Radial" แล้วจะเข้าสู่หน้าจอในรูปที่ ฎ-17 ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ 2 แล้วกดปุ่ม"Open" เพื่อเป็นการเปิด port

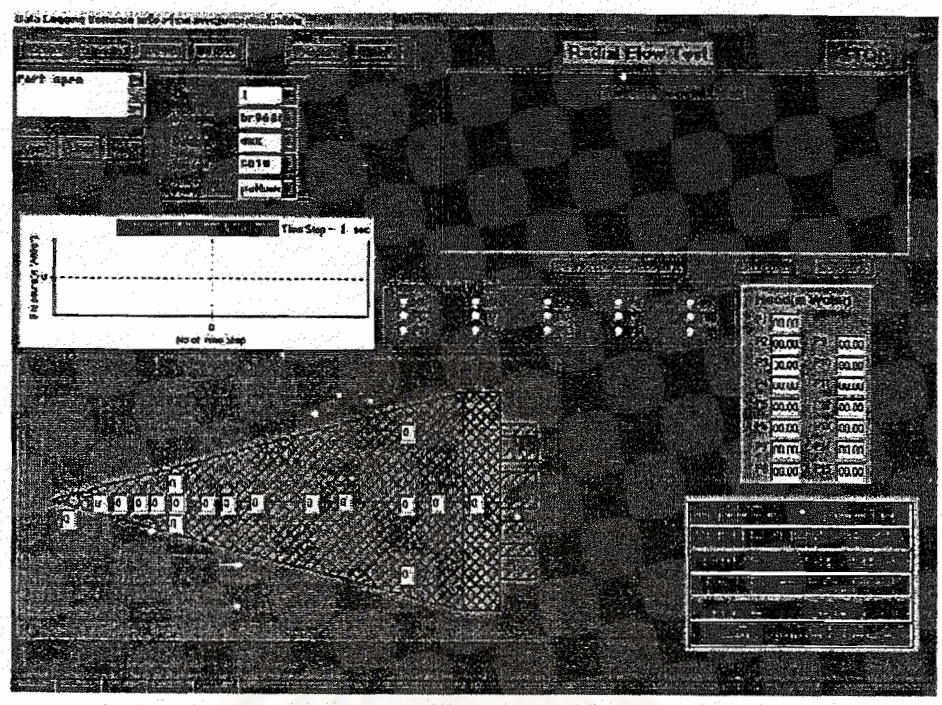


รูปที่ ฎ-17 หน้าจอก่อนทำการเปิด port

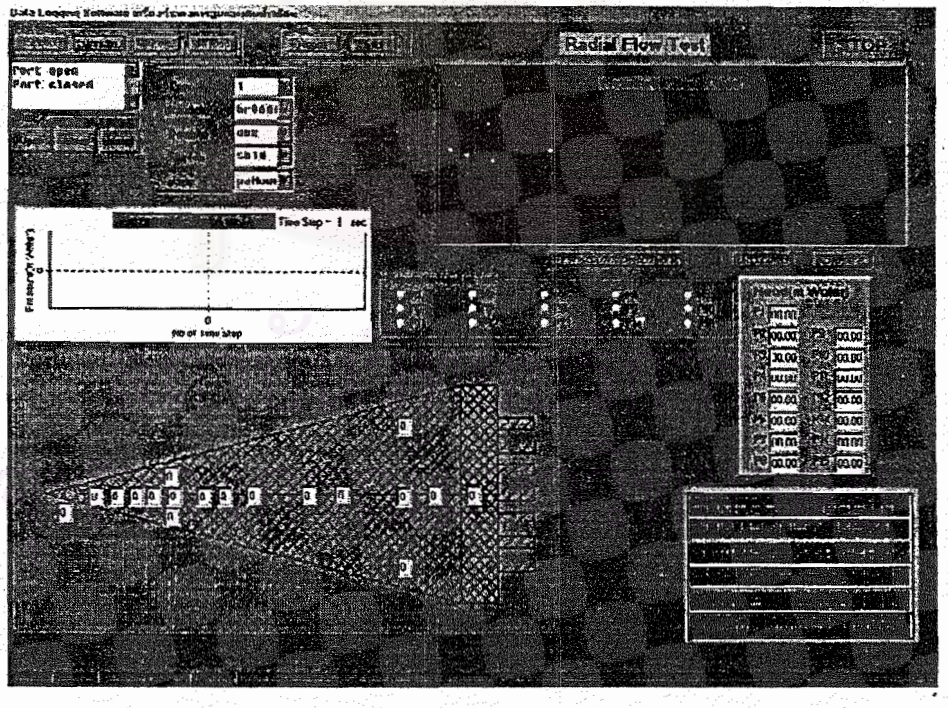
หลังจากกดปุ่ม"Open" แล้วจะมีข้อมูลขึ้นมาในรูปที่ ฎ-18 เมื่อต้องการดูการเปลี่ยนแปลงความดันตามเวลาก็ให้เลือกเซ็นเซอร์ที่ต้องการดู ในช่อง"Piezometric Head vs Time" หรือต้องการดู piezometric head curve ที่ขณะนั้นให้กดปุ่ม "View Piezometric Head Curve" และก่อนที่จะดู piezometric head curve ในช่วงเวลาต่อไป จะต้องกดปุ่ม "Clear Curve"ก่อน ไม่เช่นนั้นกราฟจะทับกัน เราสามารถเก็บรูป piezometric head curve ได้โดยกดปุ่ม "Save Curve"

เมื่อทดลองเสร็จหรือหยุดการทดลองจะมาถึงขั้นตอนที่3(Step 3) ให้กดปุ่ม "Report" เพื่อเก็บข้อมูลที่ได้จากการทดลองในรูปของรายงาน(ไฟล์สกุล .QPR) ซึ่งจะต้องใช้โปรแกรม data logging ในการเปิดดูข้อมูลซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป หรือกดปุ่ม"Exel" เพื่อเก็บข้อมูลดิบจากการทดลองให้อยู่ในรูปของไฟล์สกุล.xls ซึ่งสามารถนำผลการทดลองไปคำนวณเพิ่มเติมได้

หลังจากเก็บข้อมูลเรียบร้อยแล้วจะปรากฏหน้าจอในรูปที่ ฎ-19 แล้วให้กดปุ่ม "STOP" เพื่อออกจากโปรแกรมโดยสมบูรณ์

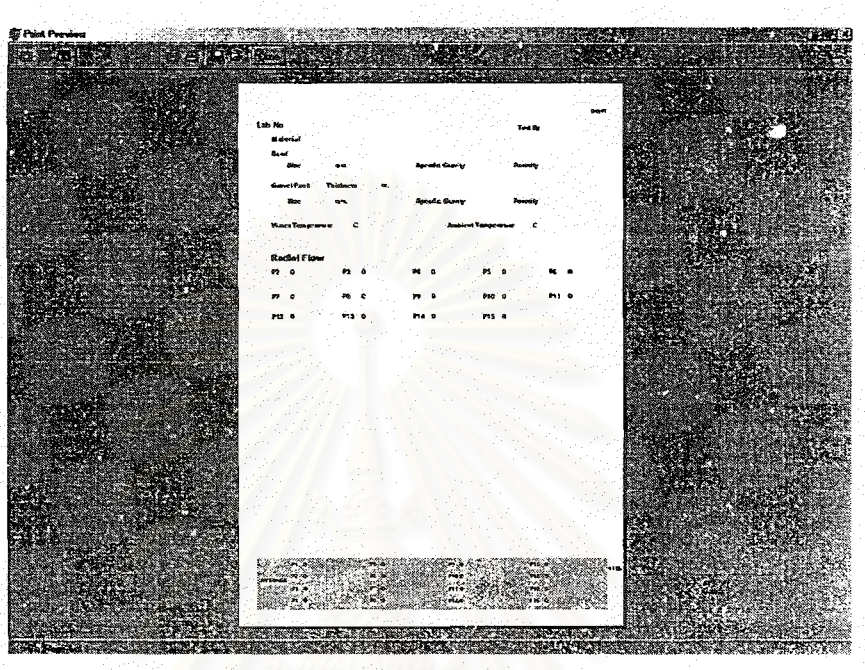


รูปที่ ฎ-18 หน้าจอแสดงผลการทดลอง



รูปที่ ฎ-19 หน้าจอก่อนปิดการทดลอง

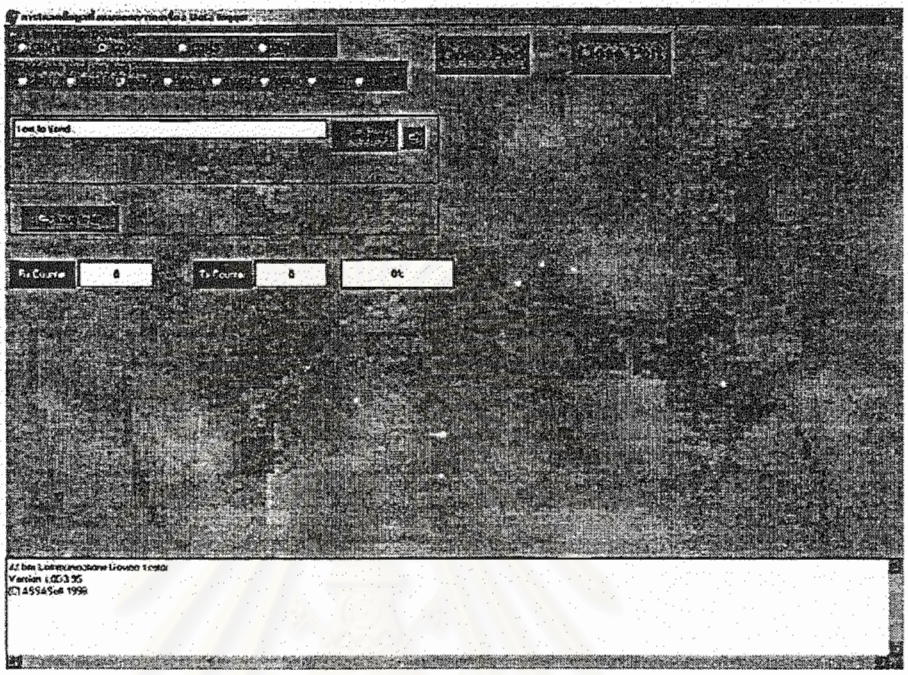
3. การดูผลการทดลองย้อนหลังในแต่ละการทดลอง ทำโดยกดปุ่ม "Views" ในหน้าจอหลัก จะปรากฏหน้าจอในรูปที่ ฎ-20 ทำการเปิดไฟล์ผลการทดลองที่เป็นไฟล์สกุล.QPR ที่เก็บไว้



รูปที่ ฎ-20 หน้าจอดูผลการทดลองย้อนหลัง

4. การถ่ายโอนข้อมูลทั้งหมดจากหน่วยความจำในdata loggerไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยกดปุ่ม " All load" ในหน้าจอหลัก จะเข้าสู่หน้าจอในรูปที่ ฎ-21

หลังจากนั้นให้กดปุ่ม"Open Port" เพื่อเปิด port แล้วกดปุ่ม "Save to file" เพื่อตั้งชื่อไฟล์ที่จะเก็บข้อมูล หลังจากนั้นให้พิมพ์อักษร " #d " ในช่อง "Text to Send" แล้วกดปุ่ม "Send text" เพื่อให้ data logger ส่งข้อมูลทั้งหมดมายังไฟล์ เมื่อสังเกตในช่อง 0% จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ รอจนครบ 100% แสดงว่าการโอนถ่ายข้อมูลครบถ้วน จึงทำการปิดโปรแกรมโดยกดปุ่ม "Close Port"



รูปที่ ฎ-21 หน้าจอสำหรับการถ่ายโอนข้อมูลทั้งหมด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 7
การบันทึกผลการทดลองและตัวอย่าง

7.1 ใบบันทึกผลการทดลอง

LAB No._____

Motor Speed = _____ Hz

Valve Open = _____ รอบ

Q = _____ m^3/s

Hp = _____ m

L_{max} = _____ m

Aquifer Properties

d_{10} = _____ mm

k = _____ m^2

Water Properties

Temp. = _____ C

υ = _____

Sensor	L (m)	L/L_{max}	A (m^2)	v (m/s)	H (m)	H/Hp	R_e	f_d
P2								
P3								
P4								
P5								
P6								
P7								
P8								
P9								
P10								
P11								
P12								
P13								
P14								
P15								

$$R_e = \frac{vd_{10}}{\upsilon}$$

$$f = \frac{gd_{10}(\frac{dH}{dL})}{2v^2}$$

7.2 **ตัวอย่างผลการทดลอง** จากการทดลองตามเงื่อนไขการทดลอง

No	วัสดุ	ทิศทางการไหล	Hz	Qx10^{-3} (m^3/s)	Hpump (m)
LAB 2	ทราย (0.7ม.ม.)	การเติมน้ำ	20-30	0.7-1.7	6.23-20.20
LAB 3	ทราย (0.7ม.ม.)	การสูบน้ำ	10-20	0.4-0.8	3.32-10.32

ได้ตัวอย่างผลการทดลองกรณีเติมน้ำและสูบน้ำในทรายชั้นน้ำขนาด 0.7 mm. โดยเปิดวาล์วควบคุม 3 จนสุด ดังตารางที่ ฎ-1

ตารางที่ ฎ-1 ผลการทดลองตัวอย่าง

L	L/Lmax	Rechagre(LAB2)								
		20 Hz (Hp=6.61 m / Q=0.0004 m^3/s)				30 Hz (Hp=19.03 m / Q=0.0013 m^3/s)				
		H	H/Hp	Re	fd	H	H/Hp	v	Re	fd
20.0	0.10	6.73	1.02	5.159	6.58	18.33	0 96	0.06210	16.768	0.82
28.0	0.14	-	-	3.685	-	-	-	0.04436	11.977	-
34.0	0.17	6.53	0.99	3.035	30.55	18.02	0.95	0.03653	9.863	0.94
45.0	0.22	6.05	0.92	2.293	70.97	17.95	0.94	0.02760	7.452	12.50
65.0	0.32	5.36	0.81	1.587	176.95	15.92	0.84	0.01911	5.159	49.65
104.0	0.50	3.53	0.53	0.992	320.12	10.31	0.54	0.01194	3.225	93.50
143.0	0.69	2.75	0.42	0.722	336.24	7.58	0.40	0.00869	2.345	104.18
180.5	0.88	1.97	0.30	0.572	466.07	5.42	0.28	0.00688	1.858	207.48
199.0	0.97	1.65	0.25	0.519	532.76	3.29	0.17	0.00624	1.685	534.28
206.0	1.00	1.40	0.21	0.501	1,569.98	1.87	0.10	0.00603	1.628	1,097.63
L	L/Lmax	Pumping(LAB3)								
		10 Hz (Hp=3.49 m/ Q=0.0002 m^3/s)				20 Hz (Hp=9.60 m/ Q=0.0004 m^3/s)				
		H	H/Hp	Re	fd	H	H/Hp	v	Re	fd
20.0	0.10	2.19	0.63	2.580	35.52	1.73	0.18	0.01911	5.159	97.90
28.0	0.14	2.03	0.58	1.843	51.56	4.05	0.42	0.01365	3.685	219.83
34.0	0.17	2.60	0.74	1.517	180.08	6.10	0.64	0.01124	3.035	203.97
45.0	0.22	2.74	0.79	1.146	99.89	7.76	0.81	0.00849	2.293	183.15
65.0	0.32	3.12	0.89	0.794	125.05	9.12	0.95	0.00588	1.587	156.31
104.0	0.50	2.89	0.83	0.496	74.45	10.08	1.05	0.00367	0.992	145.51
143.0	0.69	3.18	0.91	0.361	288.21	10.22	1.06	0.00267	0.722	84.06
180.5	0.88	3.19	0.91	0.286	494.50	9.95	1.04	0.00212	0.572	258.29
199.0	0.97	-	-	0.259	-	-	-	0.00192	0.519	-
206.0	1.00	3.50	1.00	0.250	2,184.32	9.75	1.02	0.00186	0.501	409.56

จากตารางที่ ฎ-1 สามารถเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเฮดกับระยะทาง(piezometric head curve) และหาความสัมพันธ์ระหว่าง f กับ R_e ของกรณีเติมน้ำและสูบน้ำได้

บทที่ 8
ข้อควรระวังในการใช้ชุดเครื่องมือและการบำรุงรักษา

8.1 ข้อควรระวังในการใช้

ในการใช้ชุดเครื่องมือต้องระมัดระวังในการใช้งานอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อป้องกันความสายหายต่อชุดเครื่องมือและผู้ใช้งาน ดังนี้

- ห้ามทดลองเกินขอบเขตการใช้งานของชุดเครื่องมือโดยเด็ดขาด
- การเสียบปลั๊กเครื่องสูบน้ำและอุปกรณ์อื่นๆต้องระวังกระแสไฟฟ้ารั่ว ระวังอย่าให้เท้าเปียกน้ำ
- เนื่องจากแบบจำลองมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมาก การยกหรือเคลื่อนย้ายต้องทำด้วยความระมัดระวัง
- ก่อนเดินเครื่องเครื่องสูบน้ำต้องตรวจสอบว่ามีน้ำเต็มภายในตัวเรือน และมีน้ำในถังเก็บน้ำเพียงพอ
- เมื่อเริ่มการทดลองต้องให้น้ำเข้าระบบ by pass ก่อน เพื่อลดแรงดันที่อาจเพิ่มขึ้นแบบทันทีทันใดในแบบจำลอง อาจทำให้แบบจำลองมีความเสียหายได้
- การปรับค่าการใช้งานของเครื่องปรับความเร็วรอบ ต้องปฏิบัติตามคู่มืออย่างเคร่งคัด
- การดึงสายสัญญาณออกจากหัวเซนเซอร์วัดความดัน ต้องทำด้วยความระมัดระวัง เพราะสายอาจขาดได้

8.2 การบำรุงรักษา

การบำรุงรักษาเพื่อให้ชุดเครื่องมือมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ควรปฏิบัติตามข้อแนะนำต่อไปนี้

- ควรทำความสะอาดถังเก็บน้ำทุกเดือน เพราะน้ำจากการทดลองจะมีตะกอนปะปนอยู่ ถ้าใช้ไปนานๆ อาจเกิดการอุดตันตามตะแกรงกันทรายหรือหัวเซนเซอร์วัดความดันได้ และถ้าไม่ทดลองเป็นระยะเวลานานควรระบายน้ำออกจากถังให้หมด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- ในกรณีที่ทดลองเสร็จแล้วให้รีบนำทรายออกจากแบบจำลอง เพราะทรายจะทำให้พลาสติกไม่ใส และการทำความสะอาดเมื่อทิ้งไว้นานจะทำได้ยาก
- ระหว่างการทดลองถ้าพบการรั่วซึมของน้ำในแบบจำลอง ให้หยุดการทดลองและทำการอุดรอยรั่วก่อนที่จะทดลองต่อไป
- ถ้าตะแกรงบริเวณบ่อบาดาลเกิดการอุดตันหรือถูกกัดกร่อน ควรเปลี่ยน
- ควรถอดหัวเซนเซอร์ออกมาทำความสะอาดเป็นครั้งคราว
- ต้องเดินเครื่องสูบน้ำอย่างน้อย สัปดาห์ละ 1 ครั้ง เพื่อป้องกันเพลาของเครื่องสูบน้ำติดขัด
- บริเวณหัวเซนเซอร์วัดความดัน ต้องติดตาข่ายกันทราย เพื่อป้องกันทรายเข้าไปอุดตัน
- ระวังการอุดตันที่สายยางส่งน้ำไปยังเซนเซอร์ตัวที่วัดระดับน้ำหน้าฝายวัดอัตราการไหล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 9
source code ของโปรแกรม Data logging

โปรแกรม Data logging เขียนด้วยภาษา Delphi (Version 6) มี source code ของโปรแกรมหลัก(NoAxial.pas) แสดงในหน้าที่ 119 ประกอบด้วยฟอร์ม(Form)ทั้งหมด 6 ฟอร์ม ได้แก่ frmMain Form1 Form2 Form3 Form 4 และ FtsCom32 และใช้ยูนิท(Unit) ทั้งหมด 8 ยูนิท ซึ่งเขียนด้วยภาษา Delphi(ไฟล์สกุล *.pas) ซึ่งแต่ละยูนิทจะมี source code แสดงในหน้าต่างๆ ดังนี้

formMain.pas : หน้า 120 -138

report.pas : หน้า 139 -141

Unit2.pas : หน้า 142 -148

Unit3.pas : หน้า 149 -150

uComProc.pas : หน้า 151

uComm32.pas : หน้า 152 -155

uTsCom32.pas : หน้า 156 -158

Unit4.pas : หน้า 159

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
 1: program NoAxial;
 2:
 3: uses
 4:   Forms,
 5:   formMain in 'formMain.pas' {frmMain},
 6:   report in 'report.pas' {Form1},
 7:   Unit2 in 'Unit2.pas' {Form2},
 8:   Unit3 in 'Unit3.pas' {Form3},
 9:   uComProc in 'uComProc.pas',
10:   uComm32 in 'uComm32.pas',
11:   uTsCom32 in 'uTsCom32.pas' {FtsCom32},
12:   Unit4 in 'Unit4.pas' {Form4};
13:
14: {$R *.RES}
15:
16: begin
17:   Application.Initialize;
18:   Application.CreateForm(TForm4, Form4);
19:   Application.CreateForm(TfrmMain, frmMain);
20:
21:   Application.CreateForm(TForm1, Form1);
22:   Application.CreateForm(TForm2, Form2);
23:   Application.CreateForm(TForm3, Form3);
24:   Application.CreateForm(TFtsCom32, FtsCom32);
25:   Application.Run;
26: end.
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
 1: unit formMain;
 2:
 3: interface
 4:
 5: uses
 6:   Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
 7:   StdCtrls, ComCtrls, VaConst, VaTypes, VaClasses, VaComm, ExtCtrls,
 8:   VaSystem, VrControls, VrMatrix, VrLcd, VrScope, DB, DBTables, Grids,
 9:   DBGrids, TeEngine, Series, TeeProcs, Chart, DBChart, report, Unit2,
10:   VrDisplay,Math, ExtDlgs, VrAnalog, Excel97, OleServer,Variants;
11:
12: type
13:   TfrmMain = class(TForm)
14:     VaComm1: TVaComm;
15:     StatusBar1: TStatusBar;
16:     Panel1: TPanel;
17:     EditTransmit: TEdit;
18:     CheckBoxAddLinefeed: TCheckBox;
19:     ButtonTransmit: TButton;
20:     Button1: TButton;
21:     Panel2: TPanel;
22:     Panel3: TPanel;
23:     Memo2: TMemo;
24:     Panel4: TPanel;
25:     Memo1: TMemo;
26:     Splitter1: TSplitter;
27:     Panel5: TPanel;
28:     ButtonOpen: TButton;
29:     ButtonClose: TButton;
30:     CheckBoxRTS: TCheckBox;
31:     CheckBoxDTR: TCheckBox;
32:     CheckBoxBREAK: TCheckBox;
33:     CheckBoxXON: TCheckBox;
34:     ButtonReset: TButton;
35:     DataSource1: TDataSource;
36:     Table1: TTable;
37:     Panel6: TPanel;
38:     LabelParity: TLabel;
39:     LabelStopbits: TLabel;
40:     LabelDataBits: TLabel;
41:     LabelBaudrate: TLabel;
42:     Bevel1: TBevel;
43:     Bevel2: TBevel;
44:     Label1: TLabel;
45:     ComboParity: TComboBox;
46:     ComboStopbits: TComboBox;
47:     ComboDatabits: TComboBox;
48:     ComboBaudrate: TComboBox;
49:     ComboPortNum: TComboBox;
50:     Button2: TButton;
51:     Chart1: TChart;
52:     Series2: TFastLineSeries;
53:     Series3: TFastLineSeries;
54:     VrMatrix1: TVrMatrix;
55:     VrMatrix2: TVrMatrix;
56:     VrMatrix3: TVrMatrix;
57:     VrMatrix4: TVrMatrix;
58:     VrMatrix5: TVrMatrix;
59:     DBGrid1: TDBGrid;
60:     GroupBox1: TGroupBox;
61:     Series4: TFastLineSeries;
62:     Series5: TFastLineSeries;
63:     Series6: TFastLineSeries;
64:     Series7: TFastLineSeries;
65:     Series8: TFastLineSeries;
66:     Series9: TFastLineSeries;
67:     Series10: TFastLineSeries;
68:     Series11: TFastLineSeries;
69:     Series12: TFastLineSeries;
70:     Series13: TFastLineSeries;
71:     Series14: TFastLineSeries;
72:     Series15: TFastLineSeries;
73:     Series16: TFastLineSeries;
74:     RadioButton1: TRadioButton;
75:     RadioButton2: TRadioButton;
76:     RadioButton3: TRadioButton;
77:     RadioButton4: TRadioButton;
78:     RadioButton5: TRadioButton;
79:     RadioButton6: TRadioButton;
80:     RadioButton7: TRadioButton;
81:     RadioButton8: TRadioButton;
```

```
 82:     RadioButton9: TRadioButton;
 83:     RadioButton10: TRadioButton;
 84:     RadioButton11: TRadioButton;
 85:     RadioButton12: TRadioButton;
 86:     RadioButton13: TRadioButton;
 87:     RadioButton14: TRadioButton;
 88:     RadioButton15: TRadioButton;
 89:     GroupBox2: TGroupBox;
 90:     Button7: TButton;
 91:     Button8: TButton;
 92:     Panel7: TPanel;
 93:     Edit1: TEdit;
 94:     Edit2: TEdit;
 95:     Edit3: TEdit;
 96:     Edit4: TEdit;
 97:     Edit5: TEdit;
 98:     Edit6: TEdit;
 99:     Edit7: TEdit;
100:     Edit8: TEdit;
101:     Edit9: TEdit;
102:     Edit10: TEdit;
103:     Edit11: TEdit;
104:     Edit12: TEdit;
105:     Edit13: TEdit;
106:     Edit14: TEdit;
107:     Edit15: TEdit;
108:     GroupBox3: TGroupBox;
109:     Button5: TButton;
110:     VrMatrix6: TVrMatrix;
111:     DataSource2: TDataSource;
112:     Table2: TTable;
113:     DBGrid2: TDBGrid;
114:     Receive: TButton;
115:     Button3: TButton;
116:     DBChart1: TDBChart;
117:     Button6: TButton;
118:     SavePictureDialog1: TSavePictureDialog;
119:     Series1: TPointSeries;
120:     GroupBox5: TGroupBox;
121:     Label3: TLabel;
122:     Label4: TLabel;
123:     Label5: TLabel;
124:     Label6: TLabel;
125:     Label7: TLabel;
126:     Label8: TLabel;
127:     Label9: TLabel;
128:     Label10: TLabel;
129:     Label11: TLabel;
130:     Label12: TLabel;
131:     Label13: TLabel;
132:     Label14: TLabel;
133:     Label15: TLabel;
134:     Label16: TLabel;
135:     Label17: TLabel;
136:     Label18: TLabel;
137:     Label19: TLabel;
138:     Label20: TLabel;
139:     Label21: TLabel;
140:     Label22: TLabel;
141:     Button9: TButton;
142:     Button10: TButton;
143:     Label23: TLabel;
144:     Label24: TLabel;
145:     Label25: TLabel;
146:     Label27: TLabel;
147:     ExcelWorksheet1: TExcelWorksheet;
148:     ExcelApplication1: TExcelApplication;
149:     Button12: TButton;
150:     Image1: TImage;
151:     Edit16: TEdit;
152:     Edit17: TEdit;
153:     Edit18: TEdit;
154:     Edit19: TEdit;
155:     Edit20: TEdit;
156:     Edit21: TEdit;
157:     Edit22: TEdit;
158:     Edit23: TEdit;
159:     Edit24: TEdit;
160:     Edit25: TEdit;
161:     Edit26: TEdit;
162:     Edit27: TEdit;
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
163:     Edit28: TEdit;
164:     Edit29: TEdit;
165:     Edit30: TEdit;
166:     Edit31: TEdit;
167:     Edit32: TEdit;
168:     Edit33: TEdit;
169:     Button11: TButton;
170:     procedure FormCreate(Sender: TObject);
171:     procedure ButtonOpenClick(Sender: TObject);
172:     procedure ButtonCloseClick(Sender: TObject);
173:     procedure ButtonResetClick(Sender: TObject);
174:     procedure ButtonTransmitClick(Sender: TObject);
175:     procedure Comm1TxEmpty(Sender: TObject);
176:     procedure Comm1Break(Sender: TObject);
177:     procedure Comm1Cts(Sender: TObject);
178:     procedure Comm1Dsr(Sender: TObject);
179:     procedure Comm1Error(Sender: TObject; Errors: Integer);
180:     procedure Comm1Ring(Sender: TObject);
181:     procedure Comm1Rlsd(Sender: TObject);
182:     procedure ComboBaudrateChange(Sender: TObject);
183:     procedure ComboDatabitsChange(Sender: TObject);
184:     procedure ComboStopbitsChange(Sender: TObject);
185:     procedure ComboParityChange(Sender: TObject);
186:     procedure Button1Click(Sender: TObject);
187:     procedure CheckBoxRTSClick(Sender: TObject);
188:     procedure CheckBoxDTRClick(Sender: TObject);
189:     procedure CheckBoxBREAKClick(Sender: TObject);
190:     procedure CheckBoxXONClick(Sender: TObject);
191:     procedure VaComm1Open(Sender: TObject);
192:     procedure VaComm1Close(Sender: TObject);
193:     procedure ComboPortNumChange(Sender: TObject);
194:     procedure VaComm1RxChar(Sender: TObject; Count: Integer);
195:     procedure VaComm1Rx80Full(Sender: TObject);
196:     procedure VaComm1Event1(Sender: TObject);
197:     procedure VaComm1Event2(Sender: TObject);
198:     procedure VaComm1RxFlag(Sender: TObject);
199:     procedure VaComm1PErr(Sender: TObject);
200:     procedure extractdata(datastring : string);
201:     procedure Button4Click(Sender: TObject);
202:     procedure RadioButton1Click(Sender: TObject);
203:     procedure RadioButton2Click(Sender: TObject);
204:     procedure RadioButton3Click(Sender: TObject);
205:     procedure RadioButton4Click(Sender: TObject);
206:     procedure RadioButton5Click(Sender: TObject);
207:     procedure RadioButton6Click(Sender: TObject);
208:     procedure RadioButton7Click(Sender: TObject);
209:     procedure RadioButton8Click(Sender: TObject);
210:     procedure RadioButton9Click(Sender: TObject);
211:     procedure RadioButton10Click(Sender: TObject);
212:     procedure RadioButton11Click(Sender: TObject);
213:     procedure RadioButton12Click(Sender: TObject);
214:     procedure RadioButton13Click(Sender: TObject);
215:     procedure RadioButton14Click(Sender: TObject);
216:     procedure RadioButton15Click(Sender: TObject);
217:     procedure Button7Click(Sender: TObject);
218:     procedure Button8Click(Sender: TObject);
219:     procedure Button5Click(Sender: TObject);
220:     procedure ReceiveClick(Sender: TObject);
221:     procedure Button3Click(Sender: TObject);
222:     procedure Button6Click(Sender: TObject);
223:     procedure Button9Click(Sender: TObject);
224:     procedure Button10Click(Sender: TObject);
225:     procedure Button12Click(Sender: TObject);
226:     procedure Button11Click(Sender: TObject);
227:
228:   private
229:     procedure HandleException(Sender: TObject; E: Exception);
230:   public
231:     { Public declarations }
232:   end;
233:
234: var
235:   frmMain: TfrmMain;
236:
237: implementation
238:
239: uses Unit3, uTsCom32, Unit4;
240:
241: {$R *.DFM}
242: Var
243: datapure,dataready : string;
```

```
244: detect,nub          : integer;
245:  timeset            : double;
246:  graph_2,graph_3,graph_4,graph_5,graph_6,graph_7,graph_8,graph_9,graph_10,
     graph_11,graph_12,graph_13,graph_14,graph_15:double;
247:
248: procedure TfrmMain.FormCreate(Sender: TObject);
249: begin
250:
251: ButtonOpen.Enabled:= false;
252: ButtonClose.Enabled:= false;
253: ButtonReset.Enabled:= false;
254: ButtonTransmit.Enabled:= false;
255: Button1.Enabled:= false;
256: Button5.Enabled:= false;
257: button12.Enabled:=false;
258: Receive.Enabled:= false;
259: Button3.Enabled:= false;
260: Button4.Enabled:= false;
261:   Application.OnException := HandleException;
262:
263:   with ComboPortNum do
264:     ItemIndex := Items.IndexOf('1');
265:   with ComboBaudrate do
266:     ItemIndex := Items.IndexOf('br9600');
267:   with ComboDataBits do
268:     ItemIndex := Items.IndexOf('db8');
269:   with ComboParity do
270:     ItemIndex := Items.IndexOf('paNone');
271:   with ComboStopbits do
272:     ItemIndex := Items.IndexOf('sb10');
273:
274:   //ComboBaudrate.ItemIndex + 1
275:   //Make sure we skip the brUser flag in TVaBaudRate
276:   VaComm1.PortNum := ComboPortNum.ItemIndex + 1;
277:   VaComm1.BaudRate := TVaBaudrate(ComboBaudrate.ItemIndex+1);
278:   VaComm1.Databits := TVaDataBits(ComboDatabits.ItemIndex);
279:   VaComm1.Parity := TVaParity(ComboParity.ItemIndex);
280:   VaComm1.StopBits := TVaStopBits(ComboStopbits.ItemIndex);
281:
282: end;
283: procedure TfrmMain.HandleException(Sender: TObject; E: Exception);
284: begin
285:   if E is EVaCommError then
286:     with E as EVaCommError do
287:       ShowMessage(Message);
288: end;
289:
290: procedure TfrmMain.ButtonOpenClick(Sender: TObject);
291: begin
292:   VaComm1.Open;
293:   Comm1Cts(VaComm1);
294:   Comm1Dsr(VaComm1);
295:   Comm1Ring(VaComm1);
296:   Comm1Rlsd(VaComm1);
297:   nub := 0;
298:   timeset :=0;
299:   Button5.Enabled:= true;
300:   Button12.Enabled:= true;
301:   Receive.Enabled:= true;
302: end;
303:
304: procedure TfrmMain.ButtonCloseClick(Sender: TObject);
305: begin
306:   VaComm1.Close;
307:   Comm1Cts(VaComm1);
308:   Comm1Dsr(VaComm1);
309:   Comm1Ring(VaComm1);
310:   Comm1Rlsd(VaComm1);
311: end;
312:
313: procedure TfrmMain.ButtonResetClick(Sender: TObject);
314: begin
315:   Memo1.Lines.Clear;
316:   Memo2.Lines.Clear;
317: end;
318:
319: procedure TfrmMain.ButtonTransmitClick(Sender: TObject);
320: var
321:   S: string;
322:   Ok: Boolean;
323: begin
```

```
324:   S := EditTransmit.Text;
325:   if CheckBoxAddLinefeed.Checked then
326:     S := S + #13#10;
327:   Ok := VaComm1.WriteText(S);
328:   if not Ok then
329:     Memo1.Lines.add('Error writing to: ' + Format('Port %d', [VaComm1.PortNum]))
330:   else Memo1.Lines.add(Format('Writing %d characters', [Length(S)]));
331: end;
332:
333: procedure TfrmMain.Comm1TxEmpty(Sender: TObject);
334: begin
335:   Memo1.Lines.add('TxEmpty signal detected...');
336: end;
337:
338: procedure TfrmMain.Comm1Break(Sender: TObject);
339: begin
340:   Memo1.Lines.add('Break signal detected...');
341: end;
342:
343: procedure TfrmMain.Comm1Cts(Sender: TObject);
344: begin
345:   if VaComm1.CTS then
346:     StatusBar1.Panels[0].Text := 'CTS'
347:   else StatusBar1.Panels[0].Text := '';
348: end;
349:
350: procedure TfrmMain.Comm1Dsr(Sender: TObject);
351: begin
352:   if VaComm1.DSR then
353:     StatusBar1.Panels[1].Text := 'DSR'
354:   else StatusBar1.Panels[1].Text := '';
355: end;
356:
357: procedure TfrmMain.Comm1Ring(Sender: TObject);
358: begin
359:   if VaComm1.Ring then
360:     StatusBar1.Panels[2].Text := 'RING'
361:   else StatusBar1.Panels[2].Text := '';
362: end;
363:
364: procedure TfrmMain.Comm1Rlsd(Sender: TObject);
365: begin
366:   if VaComm1.Rlsd then
367:     StatusBar1.Panels[3].Text := 'RLSD'
368:   else StatusBar1.Panels[3].Text := '';
369: end;
370:
371: procedure TfrmMain.Comm1Error(Sender: TObject; Errors: Integer);
372: begin
373:   if (Errors and CE_BREAK > 0) then Memo1.Lines.add(sCE_BREAK);
374:   if (Errors and CE_DNS > 0) then Memo1.Lines.add(sCE_DNS);
375:   if (Errors and CE_FRAME > 0) then Memo1.Lines.add(sCE_FRAME);
376:   if (Errors and CE_IOE > 0) then Memo1.Lines.add(sCE_IOE);
377:   if (Errors and CE_MODE > 0) then Memo1.Lines.add(sCE_MODE);
378:   if (Errors and CE_OOP > 0) then Memo1.Lines.add(sCE_OOP);
379:   if (Errors and CE_OVERRUN > 0) then Memo1.Lines.add(sCE_OVERRUN);
380:   if (Errors and CE_PTO > 0) then Memo1.Lines.add(sCE_PTO);
381:   if (Errors and CE_RXOVER > 0) then Memo1.Lines.add(sCE_RXOVER);
382:   if (Errors and CE_RXPARITY > 0) then Memo1.Lines.add(sCE_RXPARITY);
383:   if (Errors and CE_TXFULL > 0) then Memo1.Lines.add(sCE_TXFULL);
384: end;
385:
386: procedure TfrmMain.ComboPortNumChange(Sender: TObject);
387: begin
388:   try
389:     VaComm1.PortNum := ComboPortNum.ItemIndex + 1;
390:   except
391:     ComboPortNum.ItemIndex := VaComm1.PortNum - 1;
392:     raise;
393:   end;
394: end;
395:
396: procedure TfrmMain.ComboBaudrateChange(Sender: TObject);
397: begin
398:   //ComboBaudrate.ItemIndex + 1
399:   //Make sure we skip the brUser flag in TVaBaudRate
400:   VaComm1.BaudRate := TVaBaudrate(ComboBaudrate.ItemIndex + 1);
401:   Memo1.Lines.add('Baudrate: ' + ComboBaudrate.Text);
402: end;
403:
404: procedure TfrmMain.ComboDatabitsChange(Sender: TObject);
```

```
405: begin
406:   VaComm1.Databits := TVaDataBits(ComboDatabits.ItemIndex);
407:   Memo1.Lines.add('Databits: ' + ComboDatabits.Text);
408: end;
409:
410: procedure TfrmMain.ComboStopbitsChange(Sender: TObject);
411: begin
412:   VaComm1.StopBits := TVaStopBits(ComboStopbits.ItemIndex);
413:   Memo1.Lines.add('StopBits: ' + ComboStopbits.Text);
414: end;
415:
416: procedure TfrmMain.ComboParityChange(Sender: TObject);
417: begin
418:   VaComm1.Parity := TVaParity(ComboParity.ItemIndex);
419:   Memo1.Lines.add('Parity: ' + ComboParity.Text);
420: end;
421:
422: procedure TfrmMain.Button1Click(Sender: TObject);
423: var
424:   I: Integer;
425:   S: string;
426: begin
427:   if MessageDlg('This will sent the input a thousand times, continue?',
428:     mtConfirmation, [mbOk, mbCancel], 0) <> mrOk then exit;
429:   S := EditTransmit.Text;
430:   if CheckBoxAddLinefeed.Checked then
431:     S := S + crlf;
432:   for I := 1 to 1000 do
433:   begin
434:     VaComm1.WriteText(S);
435:     Application.ProcessMessages;
436:   end;
437: end;
438:
439: procedure TfrmMain.CheckBoxRTSClick(Sender: TObject);
440: begin
441:   VaComm1.SetRTS(CheckBoxRTS.Checked);
442: end;
443:
444: procedure TfrmMain.CheckBoxDTRClick(Sender: TObject);
445: begin
446:   VaComm1.SetDTR(CheckBoxDTR.Checked);
447: end;
448:
449: procedure TfrmMain.CheckBoxBREAKClick(Sender: TObject);
450: begin
451:   VaComm1.SetBREAK(CheckBoxBREAK.Checked);
452: end;
453:
454: procedure TfrmMain.CheckBoxXONClick(Sender: TObject);
455: begin
456:   VaComm1.SetXOn(CheckBoxXON.Checked);
457: end;
458:
459: procedure TfrmMain.VaComm1RxChar(Sender: TObject; Count: Integer);
460: Var dataget : string;
461:     countbst: string;
462:     run     : integer;
463: begin
464:   dataget := VaComm1.ReadText;
465: //  show.Caption := dataget;
466:   countbst := IntToStr(Count);
467: //  countb.Caption := countbst;
468: //  Memo2.Lines.Text := Memo2.Lines.Text + dataget;
469: //  Memo1.Lines.add('Reading ' + countbst + ' bytes');
470: //  Memo2.Lines.Text := Memo2.Lines.Text + VaComm1.ReadText;
471: //  Memo1.Lines.add('Reading ' + IntToStr(Count) + ' bytes');
472:
473:   for run := 1 to (count) do
474:   begin
475:         if copy(dataget,run,1) = char(13) then
476:         begin
477:            datapure := datapure + copy(dataget,1,run-1);
478:            if detect = 1 then
479:            begin
480:             //    show.Caption := '';
481:                 dataready    := datapure;
482:                 extractdata(dataready);
483:              //   show.Caption := dataready;
484:            end;
485:            datapure := '';
```

```
486:             dataget  := '';
487:             detect := 1;
488:           end
489:     end;
490:     if detect = 1 then
491:     begin
492:           datapure := datapure + dataget;
493:     end;
494:
495:
496: end;
497:
498: procedure TfrmMain.VaComm1Open(Sender: TObject);
499: begin
500:   Memo1.Lines.add('Port Open');
501: end;
502:
503: procedure TfrmMain.VaComm1Close(Sender: TObject);
504: begin
505:   Memo1.Lines.Add('Port closed');
506: end;
507:
508: procedure TfrmMain.VaComm1Rx80Full(Sender: TObject);
509: begin
510:   Memo1.Lines.Add('Receiver buffer is 80  full.');
511: end;
512:
513: procedure TfrmMain.VaComm1Event1(Sender: TObject);
514: begin
515:   Memo1.Lines.Add('Provider specific event 1.');
516: end;
517:
518: procedure TfrmMain.VaComm1Event2(Sender: TObject);
519: begin
520:   Memo1.Lines.Add('Provider specific event 2.');
521: end;
522:
523: procedure TfrmMain.VaComm1RxFlag(Sender: TObject);
524: begin
525:   Memo1.Lines.Add('RxFlag character received.');
526: end;
527:
528: procedure TfrmMain.VaComm1PErr(Sender: TObject);
529: begin
530:   Memo1.Lines.Add('Printer error detected.');
531: end;
532:
533: ////////////////////////////////////////////////////
534:
535: procedure TfrmMain.extractdata(datastring : string);
536: Var  dataex : array[1..23] of string;
537:     run,charrun : integer;
538:     Pressure,Q  : double;
539: begin
540:     // Transformed Data  //
541:     charrun := 1;
542:     for run := 1 to 24 do
543:     begin
544:         while (copy(datastring,charrun,1) <> chr(9)) and (run <= 22) do
545:         begin
546:           dataex[run] := dataex[run] + copy(datastring,charrun,1);
547:           charrun := charrun + 1;
548:         end;
549:         charrun := charrun + 1;
550:     end;
551:     //*************************//
552:
553:     table1.Append;
554:     nub:=nub + 1;
555:     timeset := timeset + strtofloat(form2.Label51.Caption);
556:     dataex[23] := copy(datastring,charrun-2,Length(datastring)+3-charrun);
557:     vrmatrix1.text := ( 'adress    '  +   dataex[1]);
558:     table1['Address']:= dataex[1];
559:     table1['Date']:= dataex[2]+'/'+ dataex[3];
560:     table1['Times']:=timeset;
561:     table1['Rpm']:= strtofloat(dataex[7]);
562:     table1['Ch1']:= strtofloat(dataex[8]); Edit1.Text := dataex[8];
563:     table1['Ch2']:= strtofloat(dataex[9]); Edit2.Text := dataex[9];
564:     table1['Ch3']:= strtofloat(dataex[10]);Edit3.Text := dataex[10];
565:     table1['Ch4']:= strtofloat(dataex[11]);Edit4.Text := dataex[11];
566:     table1['Ch5']:= strtofloat(dataex[12]);Edit5.Text := dataex[12];
```

```
567:     table1['Ch6']:= strtofloat(dataex[13]);Edit6.Text := dataex[13];
568:     table1['Ch7']:= strtofloat(dataex[14]);Edit7.Text := dataex[14];
569:     table1['Ch8']:= strtofloat(dataex[15]);Edit8.Text := dataex[15];
570:     table1['Ch9']:= strtofloat(dataex[16]);Edit9.Text := dataex[16];
571:     table1['Ch10']:= strtofloat(dataex[17]);Edit10.Text := dataex[17];
572:     table1['Ch11']:= strtofloat(dataex[18]);Edit11.Text := dataex[18];
573:     table1['Ch12']:= strtofloat(dataex[19]);Edit12.Text := dataex[19];
574:     table1['Ch13']:= strtofloat(dataex[20]);Edit13.Text := dataex[20];
575:     table1['Ch14']:= strtofloat(dataex[21]);Edit14.Text := dataex[21];
576:     table1['Ch15']:= strtofloat(dataex[22]);Edit15.Text := dataex[22];
577:     table1['Ch16']:= strtofloat(dataex[23]);
578:     vrmatrix2.text := ( 'month/day '  +   dataex[3]+'/'+dataex[2]);
579:     vrmatrix3.text := ( 'h/m/s  '+dataex[4] +':' +  dataex[5]+ ':' +dataex[6]);
580:     vrmatrix4.text := ( 'Speed = ' +  dataex[7] + 'Hz');
581:     vrmatrix5.text := ('P16 =  '+ dataex[23] + ' mm Water' );
582:     table1.Post;
583:     //////////Calculate Q/////////////////
584:         Pressure :=  strtofloat(dataex[23]);
585:         Pressure :=  ( Pressure - 50.0 )/1000;
586:         Q        :=   power(Pressure,1.5);
587:         Q        :=   0.040064* Q;
588:     vrmatrix6.text := ('Q ='+ floattostr(Q)+ 'm/s ');
589:     if  RadioButton1.Checked then series2.Add(strtofloat(dataex[8]));
590:     if  RadioButton2.Checked then series3.Add(strtofloat(dataex[9]));
591:     if  RadioButton3.Checked then series4.Add(strtofloat(dataex[10]));
592:     if  RadioButton4.Checked then series5.Add(strtofloat(dataex[11]));
593:     if  RadioButton5.Checked then series6.Add(strtofloat(dataex[12]));
594:     if  RadioButton6.Checked then series7.Add(strtofloat(dataex[13]));
595:     if  RadioButton7.Checked then series8.Add(strtofloat(dataex[14]));
596:     if  RadioButton8.Checked then series9.Add(strtofloat(dataex[15]));
597:     if  RadioButton9.Checked then series10.add(strtofloat(dataex[16]));
598:     if  RadioButton10.Checked then series11.add(strtofloat(dataex[17]));
599:     if  RadioButton11.Checked then series12.Add(strtofloat(dataex[18]));
600:     if  RadioButton12.Checked then series13.Add(strtofloat(dataex[19]));
601:     if  RadioButton13.Checked then series14.Add(strtofloat(dataex[20]));
602:     if  RadioButton14.Checked then series15.Add(strtofloat(dataex[21]));
603:     if  RadioButton15.Checked then series16.Add(strtofloat(dataex[22]));
604:     graph_2:= strtofloat(dataex[9]);
605:     graph_3:= strtofloat(dataex[10]);
606:     graph_4:= strtofloat(dataex[11]);
607:     graph_5:= strtofloat(dataex[12]);
608:     graph_6:= strtofloat(dataex[13]);
609:     graph_7:= strtofloat(dataex[14]);
610:     graph_8:= strtofloat(dataex[15]);
611:     graph_9:= strtofloat(dataex[16]);
612:     graph_10:= strtofloat(dataex[17]);
613:     graph_11:= strtofloat(dataex[18]);
614:     graph_12:= strtofloat(dataex[19]);
615:     graph_13:= strtofloat(dataex[20]);
616:     graph_14:= strtofloat(dataex[21]);
617:     graph_15:= strtofloat(dataex[22]);
618: ///Show pressure - distance
619:      if  (form2.ComboBox15.Text='20.0') then edit16.Text:=dataex[9];
620:      if  (form2.ComboBox15.Text='28.0') then  edit17.Text:=dataex[9];
621:      if  (form2.ComboBox15.Text='34.0') then  edit18.Text:=dataex[9];
622:      if  (form2.ComboBox15.Text='45.0') then  edit19.Text:=dataex[9];
623:      if  (form2.ComboBox15.Text='55.0') then  edit20.Text:=dataex[9];
624:      if  (form2.ComboBox15.Text='65.0') then  edit21.Text:=dataex[9];
625:      if  (form2.ComboBox15.Text='65.0L') then  edit22.Text:=dataex[9];
626:      if  (form2.ComboBox15.Text='65.0R') then  edit23.Text:=dataex[9];
627:      if  (form2.ComboBox15.Text='84.0') then  edit24.Text:=dataex[9];
628:      if  (form2.ComboBox15.Text='104.0') then  edit25.Text:=dataex[9];
629:      if  (form2.ComboBox15.Text='123.0') then  edit26.Text:=dataex[9];
630:      if  (form2.ComboBox15.Text='143.0') then  edit27.Text:=dataex[9];
631:      if  (form2.ComboBox15.Text='161.5') then  edit28.Text:=dataex[9];
632:      if  (form2.ComboBox15.Text='180.5') then  edit29.Text:=dataex[9];
633:      if  (form2.ComboBox15.Text='180.5L') then  edit30.Text:=dataex[9];
634:      if  (form2.ComboBox15.Text='180.5R') then  edit31.Text:=dataex[9];
635:      if  (form2.ComboBox15.Text='199.0') then  edit32.Text:=dataex[9];
636:      if  (form2.ComboBox15.Text='206.0') then  edit33.Text:=dataex[9];
637: ///
638:      if  (form2.ComboBox16.Text='20.0') then edit16.Text:=dataex[10];
639:      if  (form2.ComboBox16.Text='28.0') then  edit17.Text:=dataex[10];
640:      if  (form2.ComboBox16.Text='34.0') then  edit18.Text:=dataex[10];
641:      if  (form2.ComboBox16.Text='45.0') then  edit19.Text:=dataex[10];
642:      if  (form2.ComboBox16.Text='55.0') then  edit20.Text:=dataex[10];
643:      if  (form2.ComboBox16.Text='65.0') then  edit21.Text:=dataex[10];
644:      if  (form2.ComboBox16.Text='65.0L') then  edit22.Text:=dataex[10];
645:      if  (form2.ComboBox16.Text='65.0R') then  edit23.Text:=dataex[10];
646:      if  (form2.ComboBox16.Text='84.0') then  edit24.Text:=dataex[10];
647:      if  (form2.ComboBox16.Text='104.0') then  edit25.Text:=dataex[10];
```

```
648:      if  (form2.ComboBox16.Text='123.0') then  edit26.Text:=dataex[10];
649:      if  (form2.ComboBox16.Text='143.0') then  edit27.Text:=dataex[10];
650:      if  (form2.ComboBox16.Text='161.5') then  edit28.Text:=dataex[10];
651:      if  (form2.ComboBox16.Text='180.5') then  edit29.Text:=dataex[10];
652:      if  (form2.ComboBox16.Text='180.5L') then  edit30.Text:=dataex[10];
653:      if  (form2.ComboBox16.Text='180.5R') then  edit31.Text:=dataex[10];
654:      if  (form2.ComboBox16.Text='199.0') then  edit32.Text:=dataex[10];
655:      if  (form2.ComboBox16.Text='206.0') then  edit33.Text:=dataex[10];
656: ///
657:      if  (form2.ComboBox17.Text='20.0') then  edit16.Text:=dataex[11];
658:      if  (form2.ComboBox17.Text='28.0') then  edit17.Text:=dataex[11];
659:      if  (form2.ComboBox17.Text='34.0') then  edit18.Text:=dataex[11];
660:      if  (form2.ComboBox17.Text='45.0') then  edit19.Text:=dataex[11];
661:      if  (form2.ComboBox17.Text='55.0') then  edit20.Text:=dataex[11];
662:      if  (form2.ComboBox17.Text='65.0') then  edit21.Text:=dataex[11];
663:      if  (form2.ComboBox17.Text='65.0L') then edit22.Text:=dataex[11];
664:      if  (form2.ComboBox17.Text='65.0R') then edit23.Text:=dataex[11];
665:      if  (form2.ComboBox17.Text='84.0') then  edit24.Text:=dataex[11];
666:      if  (form2.ComboBox17.Text='104.0') then edit25.Text:=dataex[11];
667:      if  (form2.ComboBox17.Text='123.0') then edit26.Text:=dataex[11];
668:      if  (form2.ComboBox17.Text='143.0') then edit27.Text:=dataex[11];
669:      if  (form2.ComboBox17.Text='161.5') then edit28.Text:=dataex[11];
670:      if  (form2.ComboBox17.Text='180.5') then edit29.Text:=dataex[11];
671:      if  (form2.ComboBox17.Text='180.5L')then edit30.Text:=dataex[11];
672:      if  (form2.ComboBox17.Text='180.5R')then edit31.Text:=dataex[11];
673:      if  (form2.ComboBox17.Text='199.0') then edit32.Text:=dataex[11];
674:      if  (form2.ComboBox17.Text='206.0') then edit33.Text:=dataex[11];
675: ///
676:      if  (form2.ComboBox18.Text='20.0') then  edit16.Text:=dataex[12];
677:      if  (form2.ComboBox18.Text='28.0') then  edit17.Text:=dataex[12];
678:      if  (form2.ComboBox18.Text='34.0') then  edit18.Text:=dataex[12];
679:      if  (form2.ComboBox18.Text='45.0') then  edit19.Text:=dataex[12];
680:      if  (form2.ComboBox18.Text='55.0') then  edit20.Text:=dataex[12];
681:      if  (form2.ComboBox18.Text='65.0') then  edit21.Text:=dataex[12];
682:      if  (form2.ComboBox18.Text='65.0L') then edit22.Text:=dataex[12];
683:      if  (form2.ComboBox18.Text='65.0R') then edit23.Text:=dataex[12];
684:      if  (form2.ComboBox18.Text='84.0') then  edit24.Text:=dataex[12];
685:      if  (form2.ComboBox18.Text='104.0') then edit25.Text:=dataex[12];
686:      if  (form2.ComboBox18.Text='123.0') then edit26.Text:=dataex[12];
687:      if  (form2.ComboBox18.Text='143.0') then edit27.Text:=dataex[12];
688:      if  (form2.ComboBox18.Text='161.5') then edit28.Text:=dataex[12];
689:      if  (form2.ComboBox18.Text='180.5') then edit29.Text:=dataex[12];
690:      if  (form2.ComboBox18.Text='180.5L')then edit30.Text:=dataex[12];
691:      if  (form2.ComboBox18.Text='180.5R')then edit31.Text:=dataex[12];
692:      if  (form2.ComboBox18.Text='199.0') then edit32.Text:=dataex[12];
693:      if  (form2.ComboBox18.Text='206.0') then edit33.Text:=dataex[12];
694: ///
695:      if  (form2.ComboBox19.Text='20.0') then  edit16.Text:=dataex[13];
696:      if  (form2.ComboBox19.Text='28.0') then  edit17.Text:=dataex[13];
697:      if  (form2.ComboBox19.Text='34.0') then  edit18.Text:=dataex[13];
698:      if  (form2.ComboBox19.Text='45.0') then  edit19.Text:=dataex[13];
699:      if  (form2.ComboBox19.Text='55.0') then  edit20.Text:=dataex[13];
700:      if  (form2.ComboBox19.Text='65.0') then  edit21.Text:=dataex[13];
701:      if  (form2.ComboBox19.Text='65.0L') then edit22.Text:=dataex[13];
702:      if  (form2.ComboBox19.Text='65.0R') then edit23.Text:=dataex[13];
703:      if  (form2.ComboBox19.Text='84.0') then  edit24.Text:=dataex[13];
704:      if  (form2.ComboBox19.Text='104.0') then edit25.Text:=dataex[13];
705:      if  (form2.ComboBox19.Text='123.0') then edit26.Text:=dataex[13];
706:      if  (form2.ComboBox19.Text='143.0') then edit27.Text:=dataex[13];
707:      if  (form2.ComboBox19.Text='161.5') then edit28.Text:=dataex[13];
708:      if  (form2.ComboBox19.Text='180.5') then edit29.Text:=dataex[13];
709:      if  (form2.ComboBox19.Text='180.5L')then edit30.Text:=dataex[13];
710:      if  (form2.ComboBox19.Text='180.5R')then edit31.Text:=dataex[13];
711:      if  (form2.ComboBox19.Text='199.0') then edit32.Text:=dataex[13];
712:      if  (form2.ComboBox19.Text='206.0') then edit33.Text:=dataex[13];
713: ///
714:      if  (form2.ComboBox20.Text='20.0') then  edit16.Text:=dataex[14];
715:      if  (form2.ComboBox20.Text='28.0') then  edit17.Text:=dataex[14];
716:      if  (form2.ComboBox20.Text='34.0') then  edit18.Text:=dataex[14];
717:      if  (form2.ComboBox20.Text='45.0') then  edit19.Text:=dataex[14];
718:      if  (form2.ComboBox20.Text='55.0') then  edit20.Text:=dataex[14];
719:      if  (form2.ComboBox20.Text='65.0') then  edit21.Text:=dataex[14];
720:      if  (form2.ComboBox20.Text='65.0L') then edit22.Text:=dataex[14];
721:      if  (form2.ComboBox20.Text='65.0R') then edit23.Text:=dataex[14];
722:      if  (form2.ComboBox20.Text='84.0') then  edit24.Text:=dataex[14];
723:      if  (form2.ComboBox20.Text='104.0') then edit25.Text:=dataex[14];
724:      if  (form2.ComboBox20.Text='123.0') then edit26.Text:=dataex[14];
725:      if  (form2.ComboBox20.Text='143.0') then edit27.Text:=dataex[14];
726:      if  (form2.ComboBox20.Text='161.5') then edit28.Text:=dataex[14];
727:      if  (form2.ComboBox20.Text='180.5') then edit29.Text:=dataex[14];
728:      if  (form2.ComboBox20.Text='180.5L')then edit30.Text:=dataex[14];
```

```
729:      if  (form2.ComboBox20.Text='180.5R')then edit31.Text:=dataex[14];
730:      if  (form2.ComboBox20.Text='199.0') then edit32.Text:=dataex[14];
731:      if  (form2.ComboBox20.Text='206.0') then edit33.Text:=dataex[14];
732: ///
733:      if  (form2.ComboBox21.Text='20.0') then  edit16.Text:=dataex[15];
734:      if  (form2.ComboBox21.Text='28.0') then  edit17.Text:=dataex[15];
735:      if  (form2.ComboBox21.Text='34.0') then  edit18.Text:=dataex[15];
736:      if  (form2.ComboBox21.Text='45.0') then  edit19.Text:=dataex[15];
737:      if  (form2.ComboBox21.Text='55.0') then  edit20.Text:=dataex[15];
738:      if  (form2.ComboBox21.Text='65.0') then  edit21.Text:=dataex[15];
739:      if  (form2.ComboBox21.Text='65.0L') then edit22.Text:=dataex[15];
740:      if  (form2.ComboBox21.Text='65.0R') then edit23.Text:=dataex[15];
741:      if  (form2.ComboBox21.Text='84.0') then  edit24.Text:=dataex[15];
742:      if  (form2.ComboBox21.Text='104.0') then edit25.Text:=dataex[15];
743:      if  (form2.ComboBox21.Text='123.0') then edit26.Text:=dataex[15];
744:      if  (form2.ComboBox21.Text='143.0') then edit27.Text:=dataex[15];
745:      if  (form2.ComboBox21.Text='161.5') then edit28.Text:=dataex[15];
746:      if  (form2.ComboBox21.Text='180.5') then edit29.Text:=dataex[15];
747:      if  (form2.ComboBox21.Text='180.5L')then edit30.Text:=dataex[15];
748:      if  (form2.ComboBox21.Text='180.5R')then edit31.Text:=dataex[15];
749:      if  (form2.ComboBox21.Text='199.0') then edit32.Text:=dataex[15];
750:      if  (form2.ComboBox21.Text='206.0') then edit33.Text:=dataex[15];
751: ///
752:      if  (form2.ComboBox22.Text='20.0') then  edit16.Text:=dataex[16];
753:      if  (form2.ComboBox22.Text='28.0') then  edit17.Text:=dataex[16];
754:      if  (form2.ComboBox22.Text='34.0') then  edit18.Text:=dataex[16];
755:      if  (form2.ComboBox22.Text='45.0') then  edit19.Text:=dataex[16];
756:      if  (form2.ComboBox22.Text='55.0') then  edit20.Text:=dataex[16];
757:      if  (form2.ComboBox22.Text='65.0') then  edit21.Text:=dataex[16];
758:      if  (form2.ComboBox22.Text='65.0L') then edit22.Text:=dataex[16];
759:      if  (form2.ComboBox22.Text='65.0R') then edit23.Text:=dataex[16];
760:      if  (form2.ComboBox22.Text='84.0') then  edit24.Text:=dataex[16];
761:      if  (form2.ComboBox22.Text='104.0') then edit25.Text:=dataex[16];
762:      if  (form2.ComboBox22.Text='123.0') then edit26.Text:=dataex[16];
763:      if  (form2.ComboBox22.Text='143.0') then edit27.Text:=dataex[16];
764:      if  (form2.ComboBox22.Text='161.5') then edit28.Text:=dataex[16];
765:      if  (form2.ComboBox22.Text='180.5') then edit29.Text:=dataex[16];
766:      if  (form2.ComboBox22.Text='180.5L')then edit30.Text:=dataex[16];
767:      if  (form2.ComboBox22.Text='180.5R')then edit31.Text:=dataex[16];
768:      if  (form2.ComboBox22.Text='199.0') then edit32.Text:=dataex[16];
769:      if  (form2.ComboBox22.Text='206.0') then edit33.Text:=dataex[16];
770: ///
771:      if  (form2.ComboBox23.Text='20.0') then  edit16.Text:=dataex[17];
772:      if  (form2.ComboBox23.Text='28.0') then  edit17.Text:=dataex[17];
773:      if  (form2.ComboBox23.Text='34.0') then  edit18.Text:=dataex[17];
774:      if  (form2.ComboBox23.Text='45.0') then  edit19.Text:=dataex[17];
775:      if  (form2.ComboBox23.Text='55.0') then  edit20.Text:=dataex[17];
776:      if  (form2.ComboBox23.Text='65.0') then  edit21.Text:=dataex[17];
777:      if  (form2.ComboBox23.Text='65.0L') then edit22.Text:=dataex[17];
778:      if  (form2.ComboBox23.Text='65.0R') then edit23.Text:=dataex[17];
779:      if  (form2.ComboBox23.Text='84.0') then  edit24.Text:=dataex[17];
780:      if  (form2.ComboBox23.Text='104.0') then edit25.Text:=dataex[17];
781:      if  (form2.ComboBox23.Text='123.0') then edit26.Text:=dataex[17];
782:      if  (form2.ComboBox23.Text='143.0') then edit27.Text:=dataex[17];
783:      if  (form2.ComboBox23.Text='161.5') then edit28.Text:=dataex[17];
784:      if  (form2.ComboBox23.Text='180.5') then edit29.Text:=dataex[17];
785:      if  (form2.ComboBox23.Text='180.5L')then edit30.Text:=dataex[17];
786:      if  (form2.ComboBox23.Text='180.5R')then edit31.Text:=dataex[17];
787:      if  (form2.ComboBox23.Text='199.0') then edit32.Text:=dataex[17];
788:      if  (form2.ComboBox23.Text='206.0') then edit33.Text:=dataex[17];
789: ///
790:      if  (form2.ComboBox24.Text='20.0') then  edit16.Text:=dataex[18];
791:      if  (form2.ComboBox24.Text='28.0') then  edit17.Text:=dataex[18];
792:      if  (form2.ComboBox24.Text='34.0') then  edit18.Text:=dataex[18];
793:      if  (form2.ComboBox24.Text='45.0') then  edit19.Text:=dataex[18];
794:      if  (form2.ComboBox24.Text='55.0') then  edit20.Text:=dataex[18];
795:      if  (form2.ComboBox24.Text='65.0') then  edit21.Text:=dataex[18];
796:      if  (form2.ComboBox24.Text='65.0L') then edit22.Text:=dataex[18];
797:      if  (form2.ComboBox24.Text='65.0R') then edit23.Text:=dataex[18];
798:      if  (form2.ComboBox24.Text='84.0') then  edit24.Text:=dataex[18];
799:      if  (form2.ComboBox24.Text='104.0') then edit25.Text:=dataex[18];
800:      if  (form2.ComboBox24.Text='123.0') then edit26.Text:=dataex[18];
801:      if  (form2.ComboBox24.Text='143.0') then edit27.Text:=dataex[18];
802:      if  (form2.ComboBox24.Text='161.5') then edit28.Text:=dataex[18];
803:      if  (form2.ComboBox24.Text='180.5') then edit29.Text:=dataex[18];
804:      if  (form2.ComboBox24.Text='180.5L')then edit30.Text:=dataex[18];
805:      if  (form2.ComboBox24.Text='180.5R')then edit31.Text:=dataex[18];
806:      if  (form2.ComboBox24.Text='199.0') then edit32.Text:=dataex[18];
807:      if  (form2.ComboBox24.Text='206.0') then edit33.Text:=dataex[18];
808: ///
809:      if  (form2.ComboBox25.Text='20.0') then  edit16.Text:=dataex[19];
```

```
810:      if  (form2.ComboBox25.Text='28.0') then  edit17.Text:=dataex[19];
811:      if  (form2.ComboBox25.Text='34.0') then  edit18.Text:=dataex[19];
812:      if  (form2.ComboBox25.Text='45.0') then  edit19.Text:=dataex[19];
813:      if  (form2.ComboBox25.Text='55.0') then  edit20.Text:=dataex[19];
814:      if  (form2.ComboBox25.Text='65.0') then  edit21.Text:=dataex[19];
815:      if  (form2.ComboBox25.Text='65.0L') then edit22.Text:=dataex[19];
816:      if  (form2.ComboBox25.Text='65.0R') then edit23.Text:=dataex[19];
817:      if  (form2.ComboBox25.Text='84.0') then  edit24.Text:=dataex[19];
818:      if  (form2.ComboBox25.Text='104.0') then edit25.Text:=dataex[19];
819:      if  (form2.ComboBox25.Text='123.0') then edit26.Text:=dataex[19];
820:      if  (form2.ComboBox25.Text='143.0') then edit27.Text:=dataex[19];
821:      if  (form2.ComboBox25.Text='161.5') then edit28.Text:=dataex[19];
822:      if  (form2.ComboBox25.Text='180.5') then edit29.Text:=dataex[19];
823:      if  (form2.ComboBox25.Text='180.5L')then edit30.Text:=dataex[19];
824:      if  (form2.ComboBox25.Text='180.5R')then edit31.Text:=dataex[19];
825:      if  (form2.ComboBox25.Text='199.0') then edit32.Text:=dataex[19];
826:      if  (form2.ComboBox25.Text='206.0') then edit33.Text:=dataex[19];
827: ///
828:      if  (form2.ComboBox26.Text='20.0') then  edit16.Text:=dataex[20];
829:      if  (form2.ComboBox26.Text='28.0') then  edit17.Text:=dataex[20];
830:      if  (form2.ComboBox26.Text='34.0') then  edit18.Text:=dataex[20];
831:      if  (form2.ComboBox26.Text='45.0') then  edit19.Text:=dataex[20];
832:      if  (form2.ComboBox26.Text='55.0') then  edit20.Text:=dataex[20];
833:      if  (form2.ComboBox26.Text='65.0') then  edit21.Text:=dataex[20];
834:      if  (form2.ComboBox26.Text='65.0L') then edit22.Text:=dataex[20];
835:      if  (form2.ComboBox26.Text='65.0R') then edit23.Text:=dataex[20];
836:      if  (form2.ComboBox26.Text='84.0') then  edit24.Text:=dataex[20];
837:      if  (form2.ComboBox26.Text='104.0') then edit25.Text:=dataex[20];
838:      if  (form2.ComboBox26.Text='123.0') then edit26.Text:=dataex[20];
839:      if  (form2.ComboBox26.Text='143.0') then edit27.Text:=dataex[20];
840:      if  (form2.ComboBox26.Text='161.5') then edit28.Text:=dataex[20];
841:      if  (form2.ComboBox26.Text='180.5') then edit29.Text:=dataex[20];
842:      if  (form2.ComboBox26.Text='180.5L')then edit30.Text:=dataex[20];
843:      if  (form2.ComboBox26.Text='180.5R')then edit31.Text:=dataex[20];
844:      if  (form2.ComboBox26.Text='199.0') then edit32.Text:=dataex[20];
845:      if  (form2.ComboBox26.Text='206.0') then edit33.Text:=dataex[20];
846: ///
847:      if  (form2.ComboBox27.Text='20.0') then  edit16.Text:=dataex[21];
848:      if  (form2.ComboBox27.Text='28.0') then  edit17.Text:=dataex[21];
849:      if  (form2.ComboBox27.Text='34.0') then  edit18.Text:=dataex[21];
850:      if  (form2.ComboBox27.Text='45.0') then  edit19.Text:=dataex[21];
851:      if  (form2.ComboBox27.Text='55.0') then  edit20.Text:=dataex[21];
852:      if  (form2.ComboBox27.Text='65.0') then  edit21.Text:=dataex[21];
853:      if  (form2.ComboBox27.Text='65.0L') then edit22.Text:=dataex[21];
854:      if  (form2.ComboBox27.Text='65.0R') then edit23.Text:=dataex[21];
855:      if  (form2.ComboBox27.Text='84.0') then  edit24.Text:=dataex[21];
856:      if  (form2.ComboBox27.Text='104.0') then edit25.Text:=dataex[21];
857:      if  (form2.ComboBox27.Text='123.0') then edit26.Text:=dataex[21];
858:      if  (form2.ComboBox27.Text='143.0') then edit27.Text:=dataex[21];
859:      if  (form2.ComboBox27.Text='161.5') then edit28.Text:=dataex[21];
860:      if  (form2.ComboBox27.Text='180.5') then edit29.Text:=dataex[21];
861:      if  (form2.ComboBox27.Text='180.5L')then edit30.Text:=dataex[21];
862:      if  (form2.ComboBox27.Text='180.5R')then edit31.Text:=dataex[21];
863:      if  (form2.ComboBox27.Text='199.0') then edit32.Text:=dataex[21];
864:      if  (form2.ComboBox27.Text='206.0') then edit33.Text:=dataex[21];
865: ///
866:      if  (form2.ComboBox28.Text='20.0') then  edit16.Text:=dataex[22];
867:      if  (form2.ComboBox28.Text='28.0') then  edit17.Text:=dataex[22];
868:      if  (form2.ComboBox28.Text='34.0') then  edit18.Text:=dataex[22];
869:      if  (form2.ComboBox28.Text='45.0') then  edit19.Text:=dataex[22];
870:      if  (form2.ComboBox28.Text='55.0') then  edit20.Text:=dataex[22];
871:      if  (form2.ComboBox28.Text='65.0') then  edit21.Text:=dataex[22];
872:      if  (form2.ComboBox28.Text='65.0L') then edit22.Text:=dataex[22];
873:      if  (form2.ComboBox28.Text='65.0R') then edit23.Text:=dataex[22];
874:      if  (form2.ComboBox28.Text='84.0') then  edit24.Text:=dataex[22];
875:      if  (form2.ComboBox28.Text='104.0') then edit25.Text:=dataex[22];
876:      if  (form2.ComboBox28.Text='123.0') then edit26.Text:=dataex[22];
877:      if  (form2.ComboBox28.Text='143.0') then edit27.Text:=dataex[22];
878:      if  (form2.ComboBox28.Text='161.5') then edit28.Text:=dataex[22];
879:      if  (form2.ComboBox28.Text='180.5') then edit29.Text:=dataex[22];
880:      if  (form2.ComboBox28.Text='180.5L')then edit30.Text:=dataex[22];
881:      if  (form2.ComboBox28.Text='180.5R')then edit31.Text:=dataex[22];
882:      if  (form2.ComboBox28.Text='199.0') then edit32.Text:=dataex[22];
883:      if  (form2.ComboBox28.Text='206.0') then edit33.Text:=dataex[22];
884: ///
885: ///
886: end;
887:
888: ////////////////////////////////////////////////
889:
890: procedure TfrmMain.Button4Click(Sender: TObject);
```

```
891:   var del:integer;
892: begin
893:     for del:= 1 to nub do table1.Delete;
894:     nub :=0;
895:     timeset := 0;
896: ///Clear Temporary Database
897: ///         table1.First;
898: ///         while not table1.Eof do
899: ///         begin
900: ///           table1.Next,
901: ///           table1.Delete;
902: ///         end;
903:
904: ////////////////
905: end;
906:
907: ////////////////////////////////////////////////
908:
909: procedure TfrmMain.RadioButton1Click(Sender: TObject);
910: begin
911:      series3.Clear;RadioButton2.checked:=False;
912:      series4.Clear;RadioButton3.checked:=False;
913:      series5.Clear;RadioButton4.checked:=False;
914:      series6.Clear;RadioButton5.checked:=False;
915:      series7.Clear;RadioButton6.checked:=False;
916:      series8.Clear;RadioButton7.checked:=False;
917:      series9.Clear;RadioButton8.checked:=False;
918:      series10.Clear;RadioButton9.checked:=False;
919:      series11.Clear;RadioButton10.checked:=False;
920:      series12.Clear;RadioButton11.checked:=False;
921:      series13.Clear;RadioButton12.checked:=False;
922:      series14.Clear;RadioButton13.checked:=False;
923:      series15.Clear;RadioButton14.checked:=False;
924:      series16.Clear;RadioButton15.checked:=False;
925: end;
926:
927: procedure TfrmMain.RadioButton2Click(Sender: TObject);
928: begin
929:
930:      series2.Clear;RadioButton1.checked:=False;
931:      series4.Clear;RadioButton3.checked:=False;
932:      series5.Clear;RadioButton4.checked:=False;
933:      series6.Clear;RadioButton5.checked:=False;
934:      series7.Clear;RadioButton6.checked:=False;
935:      series8.Clear;RadioButton7.checked:=False;
936:      series9.Clear;RadioButton8.checked:=False;
937:      series10.Clear;RadioButton9.checked:=False;
938:      series11.Clear;RadioButton10.checked:=False;
939:      series12.Clear;RadioButton11.checked:=False;
940:      series13.Clear;RadioButton12.checked:=False;
941:      series14.Clear;RadioButton13.checked:=False;
942:      series15.Clear;RadioButton14.checked:=False;
943:      series16.Clear;RadioButton15.checked:=False;
944:
945: end;
946:
947: procedure TfrmMain.RadioButton3Click(Sender: TObject);
948: begin
949:      series2.Clear;RadioButton1.checked:=False;
950:      series3.Clear;RadioButton2.checked:=False;
951:      series5.Clear;RadioButton4.checked:=False;
952:      series6.Clear;RadioButton5.checked:=False;
953:      series7.Clear;RadioButton6.checked:=False;
954:      series8.Clear;RadioButton7.checked:=False;
955:      series9.Clear;RadioButton8.checked:=False;
956:      series10.Clear;RadioButton9.checked:=False;
957:      series11.Clear;RadioButton10.checked:=False;
958:      series12.Clear;RadioButton11.checked:=False;
959:      series13.Clear;RadioButton12.checked:=False;
960:      series14.Clear;RadioButton13.checked:=False;
961:      series15.Clear;RadioButton14.checked:=False;
962:      series16.Clear;RadioButton15.checked:=False;
963: end;
964:
965: procedure TfrmMain.RadioButton4Click(Sender: TObject);
966: begin
967:      series2.Clear;RadioButton1.checked:=False;
968:      series3.Clear;RadioButton2.checked:=False;
969:      series4.Clear;RadioButton3.checked:=False;
970:      series6.Clear;RadioButton5.checked:=False;
971:      series7.Clear;RadioButton6.checked:=False;
```

```
 972:      series8.Clear;RadioButton7.checked:=False;
 973:      series9.Clear;RadioButton8.checked:=False;
 974:      series10.Clear;RadioButton9.checked:=False;
 975:      series11.Clear;RadioButton10.checked:=False;
 976:      series12.Clear;RadioButton11.checked:=False;
 977:      series13.Clear;RadioButton12.checked:=False;
 978:      series14.Clear;RadioButton13.checked:=False;
 979:      series15.Clear;RadioButton14.checked:=False;
 980:      series16.Clear;RadioButton15.checked:=False;
 981:
 982: end;
 983:
 984: procedure TfrmMain.RadioButton5Click(Sender: TObject);
 985: begin
 986:      series2.Clear;RadioButton1.checked:=False;
 987:      series3.Clear;RadioButton2.checked:=False;
 988:      series4.Clear;RadioButton3.checked:=False;
 989:      series5.Clear;RadioButton4.checked:=False;
 990:      series7.Clear;RadioButton6.checked:=False;
 991:      series8.Clear;RadioButton7.checked:=False;
 992:      series9.Clear;RadioButton8.checked:=False;
 993:      series10.Clear;RadioButton9.checked:=False;
 994:      series11.Clear;RadioButton10.checked:=False;
 995:      series12.Clear;RadioButton11.checked:=False;
 996:      series13.Clear;RadioButton12.checked:=False;
 997:      series14.Clear;RadioButton13.checked:=False;
 998:      series15.Clear;RadioButton14.checked:=False;
 999:      series16.Clear;RadioButton15.checked:=False;
1000: end;
1001:
1002: procedure TfrmMain.RadioButton6Click(Sender: TObject);
1003: begin
1004:      series2.Clear;RadioButton1.checked:=False;
1005:      series3.Clear;RadioButton2.checked:=False;
1006:      series4.Clear;RadioButton3.checked:=False;
1007:      series5.Clear;RadioButton4.checked:=False;
1008:      series6.Clear;RadioButton5.checked:=False;
1009:      series8.Clear;RadioButton7.checked:=False;
1010:      series9.Clear;RadioButton8.checked:=False;
1011:      series10.Clear;RadioButton9.checked:=False;
1012:      series11.Clear;RadioButton10.checked:=False;
1013:      series12.Clear;RadioButton11.checked:=False;
1014:      series13.Clear;RadioButton12.checked:=False;
1015:      series14.Clear;RadioButton13.checked:=False;
1016:      series15.Clear;RadioButton14.checked:=False;
1017:      series16.Clear;RadioButton15.checked:=False;
1018:
1019: end;
1020:
1021:
1022:
1023: procedure TfrmMain.RadioButton7Click(Sender: TObject );
1024: begin
1025:      series2.Clear;RadioButton1.checked:=False;
1026:      series3.Clear;RadioButton2.checked:=False;
1027:      series4.Clear;RadioButton3.checked:=False;
1028:      series5.Clear;RadioButton4.checked:=False;
1029:      series6.Clear;RadioButton5.checked:=False;
1030:      series7.Clear;RadioButton6.checked:=False;
1031:      series9.Clear;RadioButton8.checked:=False;
1032:      series10.Clear;RadioButton9.checked:=False;
1033:      series11.Clear;RadioButton10.checked:=False;
1034:      series12.Clear;RadioButton11.checked:=False;
1035:      series13.Clear;RadioButton12.checked:=False;
1036:      series14.Clear;RadioButton13.checked:=False;
1037:      series15.Clear;RadioButton14.checked:=False;
1038:      series16.Clear;RadioButton15.checked:=False;
1039: end;
1040:
1041: procedure TfrmMain.RadioButton8Click(Sender: TObject);
1042: begin
1043:      series2.Clear;RadioButton1.checked:=False;
1044:      series3.Clear;RadioButton2.checked:=False;
1045:      series4.Clear;RadioButton3.checked:=False;
1046:      series5.Clear;RadioButton4.checked:=False;
1047:      series6.Clear;RadioButton5.checked:=False;
1048:      series7.Clear;RadioButton6.checked:=False;
1049:      series8.Clear;RadioButton7.checked:=False;
1050:      series10.Clear;RadioButton9.checked:=False;
1051:      series11.Clear;RadioButton10.checked:=False;
1052:      series12.Clear;RadioButton11.checked:=False;
```

```
1053:       series13.Clear;RadioButton12.checked:=False;
1054:       series14.Clear;RadioButton13.checked:=False;
1055:       series15.Clear;RadioButton14.checked:=False;
1056:       series16.Clear;RadioButton15.checked:=False;
1057: end;
1058:
1059: procedure TfrmMain.RadioButton9Click(Sender: TObject);
1060: begin
1061:       series2.Clear;RadioButton1.checked:=False;
1062:       series3.Clear;RadioButton2.checked:=False;
1063:       series4.Clear;RadioButton3.checked:=False;
1064:       series5.Clear;RadioButton4.checked:=False;
1065:       series6.Clear;RadioButton5.checked:=False;
1066:       series7.Clear;RadioButton6.checked:=False;
1067:       series8.Clear;RadioButton7.checked:=False;
1068:       series9.Clear;RadioButton8.checked:=False;
1069:       series11.Clear;RadioButton10.checked:=False;
1070:       series12.Clear;RadioButton11.checked:=False;
1071:       series13.Clear;RadioButton12.checked:=False;
1072:       series14.Clear;RadioButton13.checked:=False;
1073:       series15.Clear;RadioButton14.checked:=False;
1074:       series16.Clear;RadioButton15.checked:=False;
1075: end;
1076:
1077: procedure TfrmMain.RadioButton10Click(Sender: TObject);
1078: begin
1079:       series2.Clear;RadioButton1.checked:=False;
1080:       series3.Clear;RadioButton2.checked:=False;
1081:       series4.Clear;RadioButton3.checked:=False;
1082:       series5.Clear;RadioButton4.checked:=False;
1083:       series6.Clear;RadioButton5.checked:=False;
1084:       series7.Clear;RadioButton6.checked:=False;
1085:       series8.Clear;RadioButton7.checked:=False;
1086:       series9.Clear;RadioButton8.checked:=False;
1087:       series10.Clear;RadioButton9.checked:=False;
1088:       series12.Clear;RadioButton11.checked:=False;
1089:       series13.Clear;RadioButton12.checked:=False;
1090:       series14.Clear;RadioButton13.checked:=False;
1091:       series15.Clear;RadioButton14.checked:=False;
1092:       series16.Clear;RadioButton15.checked:=False;
1093: end;
1094:
1095: procedure TfrmMain.RadioButton11Click(Sender: TObject);
1096: begin
1097:       series2.Clear;RadioButton1.checked:=False;
1098:       series3.Clear;RadioButton2.checked:=False;
1099:       series4.Clear;RadioButton3.checked:=False;
1100:       series5.Clear;RadioButton4.checked:=False;
1101:       series6.Clear;RadioButton5.checked:=False;
1102:       series7.Clear;RadioButton6.checked:=False;
1103:       series8.Clear;RadioButton7.checked:=False;
1104:       series9.Clear;RadioButton8.checked:=False;
1105:       series10.Clear;RadioButton9.checked:=False;
1106:       series11.Clear;RadioButton10.checked:=False;
1107:       series13.Clear;RadioButton12.checked:=False;
1108:       series14.Clear;RadioButton13.checked:=False;
1109:       series15.Clear;RadioButton14.checked:=False;
1110:       series16.Clear;RadioButton15.checked:=False;
1111: end;
1112:
1113: procedure TfrmMain.RadioButton12Click(Sender: TObject);
1114: begin
1115:       series2.Clear;RadioButton1.checked:=False;
1116:       series3.Clear;RadioButton2.checked:=False;
1117:       series4.Clear;RadioButton3.checked:=False;
1118:       series5.Clear;RadioButton4.checked:=False;
1119:       series6.Clear;RadioButton5.checked:=False;
1120:       series7.Clear;RadioButton6.checked:=False;
1121:       series8.Clear;RadioButton7.checked:=False;
1122:       series9.Clear;RadioButton8.checked:=False;
1123:       series10.Clear;RadioButton9.checked:=False;
1124:       series11.Clear;RadioButton10.checked:=False;
1125:       series12.Clear;RadioButton11.checked:=False;
1126:       series14.Clear;RadioButton13.checked:=False;
1127:       series15.Clear;RadioButton14.checked:=False;
1128:       series16.Clear;RadioButton15.checked:=False;
1129: end;
1130:
1131: procedure TfrmMain.RadioButton13Click(Sender: TObject);
1132: begin
1133:       series2.Clear;RadioButton1.checked:=False;
```

```
1134:       series3.Clear;RadioButton2.checked:=False;
1135:       series4.Clear;RadioButton3.checked:=False;
1136:       series5.Clear;RadioButton4.checked:=False;
1137:       series6.Clear;RadioButton5.checked:=False;
1138:       series7.Clear;RadioButton6.checked:=False;
1139:       series8.Clear;RadioButton7.checked:=False;
1140:       series9.Clear;RadioButton8.checked:=False;
1141:       series10.Clear;RadioButton9.checked:=False;
1142:       series11.Clear;RadioButton10.checked:=False;
1143:       series12.Clear;RadioButton11.checked:=False;
1144:       series13.Clear;RadioButton12.checked:=False;
1145:       series15.Clear;RadioButton14.checked:=False;
1146:       series16.Clear;RadioButton15.checked:=False;
1147: end;
1148:
1149: procedure TfrmMain.RadioButton14Click(Sender: TObject);
1150: begin
1151:       series2.Clear;RadioButton1.checked:=False;
1152:       series3.Clear;RadioButton2.checked:=False;
1153:       series4.Clear;RadioButton3.checked:=False;
1154:       series5.Clear;RadioButton4.checked:=False;
1155:       series6.Clear;RadioButton5.checked:=False;
1156:       series7.Clear;RadioButton6.checked:=False;
1157:       series8.Clear;RadioButton7.checked:=False;
1158:       series9.Clear;RadioButton8.checked:=False;
1159:       series10.Clear;RadioButton9.checked:=False;
1160:       series11.Clear;RadioButton10.checked:=False;
1161:       series12.Clear;RadioButton11.checked:=False;
1162:       series13.Clear;RadioButton12.checked:=False;
1163:       series14.Clear;RadioButton13.checked:=False;
1164:       series16.Clear;RadioButton15.checked:=False;
1165: end;
1166:
1167: procedure TfrmMain.RadioButton15Click(Sender: TObject);
1168: begin
1169:       series2.Clear;RadioButton1.checked:=False;
1170:       series3.Clear;RadioButton2.checked:=False;
1171:       series4.Clear;RadioButton3.checked:=False;
1172:       series5.Clear;RadioButton4.checked:=False;
1173:       series6.Clear;RadioButton5.checked:=False;
1174:       series7.Clear;RadioButton6.checked:=False;
1175:       series8.Clear;RadioButton7.checked:=False;
1176:       series9.Clear;RadioButton8.checked:=False;
1177:       series10.Clear;RadioButton9.checked:=False;
1178:       series11.Clear;RadioButton10.checked:=False;
1179:       series12.Clear;RadioButton11.checked:=False;
1180:       series13.Clear;RadioButton12.checked:=False;
1181:       series14.Clear;RadioButton13.checked:=False;
1182:       series15.Clear;RadioButton14.checked:=False;
1183: end;
1184:
1185: ////////////////////////////////////////////////
1186:
1187: procedure TfrmMain.Button7Click(Sender: TObject);
1188: begin
1189: ButtonOpen.Enabled:= true;
1190: ButtonClose.Enabled:= true;
1191: ButtonReset.Enabled:= true;
1192: ButtonTransmit.Enabled:= true;
1193: Button1.Enabled:= true;
1194: Button5.Enabled:= false;
1195: Button8.Enabled:= false;
1196: Button9.Enabled:= false;
1197: Button10.Enabled:= false;
1198: form2.ShowModal;
1199: ///Clear Temporary Database
1200:         table1.First;
1201:         while not table1.Eof do
1202:         begin
1203:           table1.Next;
1204:           table1.Delete;
1205:         end;
1206:         table2.First;
1207:         while not table2.Eof do
1208:         begin
1209:           table2.Next;
1210:           table2.Delete;
1211:         end;
1212: ////////////////////
1213: end;
1214:
```

```
1215: procedure TfrmMain.Button8Click(Sender: TObject);
1216: begin
1217: form1.c.Preview;
1218: end;
1219:
1220: procedure TfrmMain.Button5Click(Sender: TObject);
1221: begin
1222:   VaComm1.Close;
1223:   Comm1Cts(VaComm1);
1224:   Comm1Dsr(VaComm1);
1225:   Comm1Ring(VaComm1);
1226:   Comm1Rlsd(VaComm1);
1227: form1.c.Preview;
1228:
1229: end;
1230: ////////////////////////////////////////////////////
1231: procedure TfrmMain.ReceiveClick(Sender: TObject);
1232: begin
1233:
1234: if (frmmain.Label19.Enabled =true) then
1235:
1236: ///if(form2.PageControl1.TabIndex=0) then
1237:         begin
1238:       ///
1239:         if (form2.ComboBox15.text='15.0L') then form2.ComboBox15.text:='15.0';
1240:         if (form2.ComboBox15.text='15.0R') then form2.ComboBox15.text:='15.0';
1241:         if (form2.ComboBox15.text='180.5L')then form2.ComboBox15.text:='180.5';
1242:         if (form2.ComboBox15.text='180.5R')then form2.ComboBox15.text:='180.5';
1243:       ///
1244:         if (form2.ComboBox16.text='15.0L') then form2.ComboBox16.text:='15.0';
1245:         if (form2.ComboBox16.text='15.0R') then form2.ComboBox16.text:='15.0';
1246:         if (form2.ComboBox16.text='180.5L')then form2.ComboBox16.text:='180.5';
1247:         if (form2.ComboBox16.text='180.5R')then form2.ComboBox16.text:='180.5';
1248:       ///
1249:         if (form2.ComboBox17.text='15.0L') then form2.ComboBox17.text:='15.0';
1250:         if (form2.ComboBox17.text='15.0R') then form2.ComboBox17.text:='15.0';
1251:         if (form2.ComboBox17.text='180.5L')then form2.ComboBox17.text:='180.5';
1252:         if (form2.ComboBox17.text='180.5R')then form2.ComboBox17.text:='180.5';
1253:       ///
1254:         if (form2.ComboBox18.text='15.0L') then form2.ComboBox18.text:='15.0';
1255:         if (form2.ComboBox18.text='15.0R') then form2.ComboBox18.text:='15.0';
1256:         if (form2.ComboBox18.text='180.5L')then form2.ComboBox18.text:='180.5';
1257:         if (form2.ComboBox18.text='180.5R')then form2.ComboBox18.text:='180.5';
1258:       ///
1259:         if (form2.ComboBox19.text='15.0L') then form2.ComboBox19.text:='15.0';
1260:         if (form2.ComboBox19.text='15.0R') then form2.ComboBox19.text:='15.0';
1261:         if (form2.ComboBox19.text='180.5L')then form2.ComboBox19.text:='180.5';
1262:         if (form2.ComboBox19.text='180.5R')then form2.ComboBox19.text:='180.5';
1263:       ///
1264:         if (form2.ComboBox20.text='15.0L') then form2.ComboBox20.text:='15.0';
1265:         if (form2.ComboBox20.text='15.0R') then form2.ComboBox20.text:='15.0';
1266:         if (form2.ComboBox20.text='180.5L')then form2.ComboBox20.text:='180.5';
1267:         if (form2.ComboBox20.text='180.5R')then form2.ComboBox20.text:='180.5';
1268:       ///
1269:         if (form2.ComboBox21.text='15.0L') then form2.ComboBox21.text:='15.0';
1270:         if (form2.ComboBox21.text='15.0R') then form2.ComboBox21.text:='15.0';
1271:         if (form2.ComboBox21.text='180.5L')then form2.ComboBox21.text:='180.5';
1272:         if (form2.ComboBox21.text='180.5R')then form2.ComboBox21.text:='180.5';
1273:       ///
1274:         if (form2.ComboBox22.text='15.0L') then form2.ComboBox22.text:='15.0';
1275:         if (form2.ComboBox22.text='15.0R') then form2.ComboBox22.text:='15.0';
1276:         if (form2.ComboBox22.text='180.5L')then form2.ComboBox22.text:='180.5';
1277:         if (form2.ComboBox22.text='180.5R')then form2.ComboBox22.text:='180.5';
1278:       ///
1279:         if (form2.ComboBox23.text='15.0L') then form2.ComboBox23.text:='15.0';
1280:         if (form2.ComboBox23.text='15.0R') then form2.ComboBox23.text:='15.0';
1281:         if (form2.ComboBox23.text='180.5L')then form2.ComboBox23.text:='180.5';
1282:         if (form2.ComboBox23.text='180.5R')then form2.ComboBox23.text:='180.5';
1283:       ///
1284:         if (form2.ComboBox24.text='15.0L') then form2.ComboBox24.text:='15.0';
1285:         if (form2.ComboBox24.text='15.0R') then form2.ComboBox24.text:='15.0';
1286:         if (form2.ComboBox24.text='180.5L')then form2.ComboBox24.text:='180.5';
1287:         if (form2.ComboBox24.text='180.5R')then form2.ComboBox24.text:='180.5';
1288:       ///
1289:         if (form2.ComboBox25.text='15.0L') then form2.ComboBox25.text:='15.0';
1290:         if (form2.ComboBox25.text='15.0R') then form2.ComboBox25.text:='15.0';
1291:         if (form2.ComboBox25.text='180.5L')then form2.ComboBox25.text:='180.5';
1292:         if (form2.ComboBox25.text='180.5R')then form2.ComboBox25.text:='180.5';
1293:       ///
1294:         if (form2.ComboBox26.text='15.0L') then form2.ComboBox26.text:='15.0';
1295:         if (form2.ComboBox26.text='15.0R') then form2.ComboBox26.text:='15.0';
```

```
1296:         if (form2.ComboBox26.text='180.5L')then form2.ComboBox26.text:='180.5';
1297:         if (form2.ComboBox26.text='180.5R')then form2.ComboBox26.text:='180.5';
1298:       ///
1299:         if (form2.ComboBox27.text='15.0L') then form2.ComboBox27.text:='15.0';
1300:         if (form2.ComboBox27.text='15.0R') then form2.ComboBox27.text:='15.0';
1301:         if (form2.ComboBox27.text='180.5L')then form2.ComboBox27.text:='180.5';
1302:         if (form2.ComboBox27.text='180.5R')then form2.ComboBox27.text:='180.5';
1303:       ///
1304:         if (form2.ComboBox28.text='15.0L') then form2.ComboBox28.text:='15.0';
1305:         if (form2.ComboBox28.text='15.0R') then form2.ComboBox28.text:='15.0';
1306:         if (form2.ComboBox28.text='180.5L')then form2.ComboBox28.text:='180.5';
1307:         if (form2.ComboBox28.text='180.5R')then form2.ComboBox28.text:='180.5';
1308:       ///
1309:
1310:         table2.Append;
1311:         table2['Distance'] :=  strtofloat(form2.ComboBox15.Text);
1312:         table2['Pressure'] := graph_2;
1313:         table2.Append;
1314:         table2['Distance'] :=  strtofloat(form2.ComboBox16.Text);
1315:         table2['Pressure'] := graph_3;
1316:         table2.Append;
1317:         table2['Distance'] :=  strtofloat(form2.ComboBox17.Text);
1318:         table2['Pressure'] := graph_4;
1319:         table2.Append;
1320:         table2['Distance'] :=  strtofloat(form2.ComboBox18.Text);
1321:         table2['Pressure'] := graph_5;
1322:         table2.Append;
1323:         table2['Distance'] :=  strtofloat(form2.ComboBox19.Text);
1324:         table2['Pressure'] := graph_6;
1325:         table2.Append;
1326:         table2['Distance'] :=  strtofloat(form2.ComboBox20.Text);
1327:         table2['Pressure'] := graph_7;
1328:         table2.Append;
1329:         table2['Distance'] :=  strtofloat(form2.ComboBox21.Text);
1330:         table2['Pressure'] := graph_8;
1331:         table2.Append;
1332:         table2['Distance'] :=  strtofloat(form2.ComboBox22.Text);
1333:         table2['Pressure'] := graph_9;
1334:         table2.Append;
1335:         table2['Distance'] :=  strtofloat(form2.ComboBox23.Text);
1336:         table2['Pressure'] := graph_10;
1337:         table2.Append;
1338:         table2['Distance'] :=  strtofloat(form2.ComboBox24.Text);
1339:         table2['Pressure'] := graph_11;
1340:         table2.Append;
1341:         table2['Distance'] :=  strtofloat(form2.ComboBox25.Text);
1342:         table2['Pressure'] := graph_12;
1343:         table2.Append;
1344:         table2['Distance'] :=  strtofloat(form2.ComboBox26.Text);
1345:         table2['Pressure'] := graph_13;
1346:         table2.Append;
1347:         table2['Distance'] :=  strtofloat(form2.ComboBox27.Text);
1348:         table2['Pressure'] := graph_14;
1349:         table2.Append;
1350:         table2['Distance'] :=  strtofloat(form2.ComboBox28.Text);
1351:         table2['Pressure'] := graph_15;
1352:         table2.Post;
1353:         receive.Enabled:= false;
1354:         Button3.Enabled := true;
1355:         Button6.Enabled := true;
1356:         end;
1357: end;
1358: ////////////////////////////////////////////////
1359: procedure TfrmMain.Button3Click(Sender: TObject);
1360: var d:integer;
1361: begin
1362:        for d:= 1 to 14 do
1363:        table2.Delete;
1364:        receive.Enabled:= true;
1365:        Button3.Enabled:= false;
1366:        Button6.Enabled := true;
1367: ////////
1368: ///         table2.First;
1369: ///         while not table2.Eof do
1370: ///         begin
1371: ///           table2.Next;
1372: ///           table2.Delete;
1373: ///         end;
1374: //////
1375: end;
1376: ////////////////////////////////////////////////
```

```
1377: procedure TfrmMain.Button6Click(Sender: TObject);
1378: begin
1379:     if SavePictureDialog1.Execute then
1380:       begin
1381:            DBChart1.SaveToBitmapFile(SavePictureDialog1.FileName);
1382:       end;
1383:      receive.Enabled:= true;
1384: end;
1385:
1386: procedure TfrmMain.Button9Click(Sender: TObject);
1387: begin
1388:        form3.show;
1389: end;
1390:
1391: procedure TfrmMain.Button10Click(Sender: TObject);
1392: begin
1393:        FtsCom32.show;
1394: end;
1395:
1396:
1397:
1398:
1399: procedure TfrmMain.Button12Click(Sender: TObject);
1400:
1401: var i,j,r,c : integer ;
1402:     WorkBk : _WorkBook; //  Define a WorkBook
1403:     WorkSheet : _WorkSheet; //  Define a WorkSheet
1404:     IIndex : OleVariant;
1405:     grid : variant;
1406: begin
1407:      VaComm1.Close;
1408:   Comm1Cts(VaComm1);
1409:   Comm1Dsr(VaComm1);
1410:   Comm1Ring(VaComm1);
1411:   Comm1Rlsd(VaComm1);
1412:    IIndex := 1;
1413:     j := 1 ;
1414:     table1.Last;
1415:     r := table1.RecNo+1;
1416:     table1.First;
1417:     c := table1.FieldCount;
1418:     Grid := VarArrayCreate([0,(R),0,(C - 1)],VarOleStr);
1419:     grid[0,0] := table1.Fields[0].FieldName;
1420:     grid[0,1] := table1.Fields[1].FieldName;
1421:     grid[0,2] := table1.Fields[2].FieldName;
1422:     grid[0,3] := table1.Fields[3].FieldName;
1423:     grid[0,4] := table1.Fields[4].FieldName;
1424:     grid[0,5] := table1.Fields[5].FieldName;
1425:     grid[0,6] := table1.Fields[6].FieldName;
1426:     grid[0,7] := table1.Fields[7].FieldName;
1427:     grid[0,8] := table1.Fields[8].FieldName;
1428:     grid[0,9] := table1.Fields[9].FieldName;
1429:     grid[0,10] := table1.Fields[10].FieldName;
1430:     grid[0,11] := table1.Fields[11].FieldName;
1431:     grid[0,12] := table1.Fields[12].FieldName;
1432:     grid[0,13] := table1.Fields[13].FieldName;
1433:     grid[0,14] := table1.Fields[14].FieldName;
1434:     grid[0,15] := table1.Fields[15].FieldName;
1435:     grid[0,16] := table1.Fields[16].FieldName;
1436:     grid[0,17] := table1.Fields[17].FieldName;
1437:     grid[0,18] := table1.Fields[18].FieldName;
1438:     grid[0,19] := table1.Fields[19].FieldName;
1439:     repeat
1440:          for i := 0 to c-1  do
1441:          begin
1442:             if i >= 2 then  grid[j,i] := table1.Fields[i].AsFloat
1443:             else grid[j,i] := table1.Fields[i].AsString;
1444:
1445:
1446:          end ;
1447:          table1.Next;
1448:          j := j+1 ;
1449:     until j > (r);
1450:
1451:   ExcelApplication1.Connect;
1452:   ExcelApplication1.Workbooks.Add(xlWBatWorkSheet,0);
1453:    WorkBk :=  ExcelApplication1.Workbooks.Item[IIndex];
1454:    WorkSheet := WorkBk.WorkSheets.Get_Item(1) as _WorkSheet;
1455:    Worksheet.Range['A1',Worksheet.Cells.Item[R,C]].Value := Grid;
1456:    Worksheet.Columns.Font.Bold := True;
1457:    Worksheet.Columns.HorizontalAlignment := xlRight;
```

```
1458:    WorkSheet.Columns.ColumnWidth := 14;
1459:    ExcelApplication1.Visible[0] := true ;
1460:    ExcelApplication1.Disconnect;
1461:    Grid := Unassigned;
1462:   end;
1463:
1464:
1465: procedure TfrmMain.Button11Click(Sender: TObject);
1466: var del:integer;
1467: begin
1468:     for del:= 1 to nub do table1.Delete;
1469:     nub :=0;
1470:     timeset := 0;
1471: ///Clear Temporary Database
1472: ///         table1.First;
1473: ///         while not table1.Eof do
1474: ///         begin
1475: ///           table1.Next;
1476: ///           table1.Delete;
1477: ///         end;
1478:
1479: ////////////////
1480:     form4.close;
1481:
1482: end;
1483:
1484: end.
1485:
1486:
1487:
1488:
1489:
1490:
1491:
1492:
1493:
1494:
1495:
1496:
1497:
1498:
1499:
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
unit report;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  Qrctrls, QuickRpt, Db, DBTables, ExtCtrls, StdCtrls;

type
  TForm1 = class(TForm)
    c: TQuickRep;
    Table1: TTable;
    ColumnHeaderBand1: TQRBand;
    DetailBand1: TQRBand;
    PageFooterBand1: TQRBand;
    PageHeaderBand1: TQRBand;
    TitleBand1: TQRBand;
    QRSysData1: TQRSysData;
    QRLabel1: TQRLabel;
    QRSysData2: TQRSysData;
    QRLabel2: TQRLabel;
    Address: TQRDBText;
    QRLabel3: TQRLabel;
    QRDBText1: TQRDBText;
    QRLabel4: TQRLabel;
    QRDBText2: TQRDBText;
    QRLabel5: TQRLabel;
    QRDBText3: TQRDBText;
    QRLabel6: TQRLabel;
    QRDBText4: TQRDBText;
    QRLabel7: TQRLabel;
    QRDBText5: TQRDBText;
    QRLabel8: TQRLabel;
    QRDBText6: TQRDBText;
    QRLabel9: TQRLabel;
    QRDBText7: TQRDBText;
    QRLabel10: TQRLabel;
    QRDBText8: TQRDBText;
    QRLabel11: TQRLabel;
    QRDBText9: TQRDBText;
    QRLabel12: TQRLabel;
    QRDBText10: TQRDBText;
    QRLabel13: TQRLabel;
    QRDBText11: TQRDBText;
    QRLabel14: TQRLabel;
    QRDBText12: TQRDBText;
    QRLabel15: TQRLabel;
    QRDBText13: TQRDBText;
    QRLabel16: TQRLabel;
    QRDBText14: TQRDBText;
    QRLabel17: TQRLabel;
    QRDBText15: TQRDBText;
    QRLabel18: TQRLabel;
    QRDBText16: TQRDBText;
    QRLabel19: TQRLabel;
    QRDBText17: TQRDBText;
    QRLabel20: TQRLabel;
    QRDBText18: TQRDBText;
    QRLabel21: TQRLabel;
    QRDBText19: TQRDBText;
    QRLabel22: TQRLabel;
    QRLabel23: TQRLabel;
    QRLabel24: TQRLabel;
    QRLabel25: TQRLabel;
    QRLabel26: TQRLabel;
    QRLabel27: TQRLabel;
    QRLabel28: TQRLabel;
    QRLabel29: TQRLabel;
    QRLabel30: TQRLabel;
    QRLabel33: TQRLabel;
    QRLabel34: TQRLabel;
    QRLabel35: TQRLabel;
    QRLabel36: TQRLabel;
    QRLabel37: TQRLabel;
    QRLabel38: TQRLabel;
    QRLabel41: TQRLabel;
    QRLabel42: TQRLabel;
    QRLabel43: TQRLabel;
    QRLabel44: TQRLabel;
    QRLabel45: TQRLabel;
    QRLabel46: TQRLabel;
```

บรรณวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
    QRLabel47: TQRLabel;
    P2: TQRLabel;
    QRLabel49: TQRLabel;
    P3: TQRLabel;
    QRLabel51: TQRLabel;
    P4: TQRLabel;
    QRLabel53: TQRLabel;
    P5: TQRLabel;
    QRLabel55: TQRLabel;
    P6: TQRLabel;
    QRLabel57: TQRLabel;
    P7: TQRLabel;
    QRLabel59: TQRLabel;
    P8: TQRLabel;
    QRLabel61: TQRLabel;
    P9: TQRLabel;
    QRLabel63: TQRLabel;
    P10: TQRLabel;
    QRLabel65: TQRLabel;
    P11: TQRLabel;
    QRLabel67: TQRLabel;
    P12: TQRLabel;
    QRLabel69: TQRLabel;
    P13: TQRLabel;
    QRLabel71: TQRLabel;
    P14: TQRLabel;
    QRLabel73: TQRLabel;
    P15: TQRLabel;
    QRLabel75: TQRLabel;
    QRLabel48: TQRLabel;
    QRLabel50: TQRLabel;
    QRLabel52: TQRLabel;
    QRLabel54: TQRLabel;
    QRLabel56: TQRLabel;
    QRLabel58: TQRLabel;
    QRLabel60: TQRLabel;
    QRLabel62: TQRLabel;
    QRExpr2: TQRExpr;
    QRExpr3: TQRExpr;
    QRExpr4: TQRExpr;
    QRExpr5: TQRExpr;
    QRExpr6: TQRExpr;
    QRExpr7: TQRExpr;
    QRExpr8: TQRExpr;
    QRExpr9: TQRExpr;
    QRExpr10: TQRExpr;
    QRExpr11: TQRExpr;
    QRExpr12: TQRExpr;
    QRExpr13: TQRExpr;
    QRExpr14: TQRExpr;
    QRExpr15: TQRExpr;
    QRExpr16: TQRExpr;
    QRExpr17: TQRExpr;
    QRLabel31: TQRLabel;
    QRLabel32: TQRLabel;
    QRLabel39: TQRLabel;
    QRLabel40: TQRLabel;
    QRLabel64: TQRLabel;
    QRLabel66: TQRLabel;
    QRLabel68: TQRLabel;
    QRLabel70: TQRLabel;
    QRLabel72: TQRLabel;
    QRLabel74: TQRLabel;
    QRLabel76: TQRLabel;
    QRLabel77: TQRLabel;
    QRLabel78: TQRLabel;
    QRLabel79: TQRLabel;
    QRLabel81: TQRLabel;
    QRLabel82: TQRLabel;
    QRLabel80: TQRLabel;
    QRExpr1: TQRExpr;

    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  Form1: TForm1;

implementation
```

```
163:
164: {$R *.DFM}
165:
166: end.
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
 1: unit Unit2;
 2:
 3: interface
 4:
 5: uses
 6:   Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
 7:   Dialogs, StdCtrls, report, ExtCtrls, ComCtrls;
 8:
 9: type
10:   TForm2 = class(TForm)
11:     Panel1: TPanel;
12:     Label1: TLabel;
13:     Label2: TLabel;
14:     Edit1: TEdit;
15:     Label3: TLabel;
16:     Edit2: TEdit;
17:     Panel2: TPanel;
18:     GroupBox1: TGroupBox;
19:     Label4: TLabel;
20:     Label5: TLabel;
21:     Edit3: TEdit;
22:     Label6: TLabel;
23:     Edit4: TEdit;
24:     Label7: TLabel;
25:     Edit5: TEdit;
26:     Label9: TLabel;
27:     Label10: TLabel;
28:     Edit7: TEdit;
29:     Label11: TLabel;
30:     Edit8: TEdit;
31:     Label12: TLabel;
32:     Edit9: TEdit;
33:     Label13: TLabel;
34:     Edit10: TEdit;
35:     Label15: TLabel;
36:     Edit12: TEdit;
37:     Label16: TLabel;
38:     Label17: TLabel;
39:     Edit13: TEdit;
40:     Label18: TLabel;
41:     GroupBox2: TGroupBox;
42:     Label19: TLabel;
43:     Label20: TLabel;
44:     Label21: TLabel;
45:     Label50: TLabel;
46:     ComboBox29: TComboBox;
47:     Label51: TLabel;
48:     Label52: TLabel;
49:     PageControl1: TPageControl;
50:     Radial: TTabSheet;
51:     Label22: TLabel;
52:     Label23: TLabel;
53:     Label24: TLabel;
54:     Label25: TLabel;
55:     Label26: TLabel;
56:     Label27: TLabel;
57:     Label28: TLabel;
58:     Label29: TLabel;
59:     Label30: TLabel;
60:     Label31: TLabel;
61:     Label32: TLabel;
62:     Label33: TLabel;
63:     Label34: TLabel;
64:     Label35: TLabel;
65:     ComboBox15: TComboBox;
66:     ComboBox16: TComboBox;
67:     ComboBox17: TComboBox;
68:     ComboBox18: TComboBox;
69:     ComboBox19: TComboBox;
70:     ComboBox20: TComboBox;
71:     ComboBox21: TComboBox;
72:     ComboBox22: TComboBox;
73:     ComboBox23: TComboBox;
74:     ComboBox24: TComboBox;
75:     ComboBox25: TComboBox;
76:     ComboBox26: TComboBox;
77:     ComboBox27: TComboBox;
78:     ComboBox28: TComboBox;
79:     Button1: TButton;
80:
81:
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
82:     procedure ComboBox15Change(Sender: TObject);
83:     procedure Button1Click(Sender: TObject);
84:     procedure ComboBox16Change(Sender: TObject);
85:     procedure ComboBox17Change(Sender: TObject);
86:     procedure ComboBox18Change(Sender: TObject);
87:     procedure ComboBox19Change(Sender: TObject);
88:     procedure ComboBox20Change(Sender: TObject);
89:     procedure ComboBox21Change(Sender: TObject);
90:     procedure ComboBox22Change(Sender: TObject);
91:     procedure ComboBox23Change(Sender: TObject);
92:     procedure ComboBox24Change(Sender: TObject);
93:     procedure ComboBox25Change(Sender: TObject);
94:     procedure ComboBox26Change(Sender: TObject);
95:     procedure ComboBox27Change(Sender: TObject);
96:     procedure ComboBox28Change(Sender: TObject);
97:     procedure ComboBox29Change(Sender: TObject);
98:   private
99:     { Private declarations }
100:  public
101:    { Public declarations }
102:  end;
103:
104: var
105:   Form2: TForm2;
106:
107: implementation
108:
109: uses formMain;
110:
111: {$R *.dfm}
112:
113: procedure TForm2.Button1Click(Sender: TObject);
114: begin
115:         form1.QRLabel1.Caption := edit1.Text;
116:         form1.QRLabel22.Caption := edit2.Text;
117:         form1.QRLabel26.Caption := edit3.Text;
118:         form1.QRLabel28.Caption := edit4.Text;
119:         form1.QRLabel30.Caption := edit5.Text;
120:         ///form1.QRLabel32.Caption := edit6.Text;
121:         form1.QRLabel34.Caption := edit8.Text;
122:         form1.QRLabel36.Caption := edit9.Text;
123:         form1.QRLabel38.Caption := edit10.Text;
124:         ///form1.QRLabel40.Caption := edit11.Text;
125:         form1.QRLabel42.Caption := edit7.Text;
126:         form1.QRLabel44.Caption := edit12.Text;
127:         form1.QRLabel46.Caption := edit13.Text;
128:         form1.QRLabel47.Caption := 'Radial Flow ';
129:         form1.Update;
130:         form2.Close;
131:         frmMain.Label19.Visible :=true;
132:         frmMain.Label19.Enabled := true;
133:         frmMain.Label24.Caption := form2.Edit1.Text;
134:         frmMain.Label19.Caption := ' Radial Flow Test ';
135:         frmMain.Label20.Visible := true;
136:         frmMain.Label20.Caption := form2.ComboBox29.Text;
137:
138: end;
139:
140: procedure TForm2.ComboBox15Change(Sender: TObject);
141: begin
142:       case ComboBox15.ItemIndex of
143:         0: form1.QRLabel49.Caption := '20.0';
144:         1: form1.QRLabel49.Caption := '28.0';
145:         2: form1.QRLabel49.Caption := '34.0';
146:         3: form1.QRLabel49.Caption := '45.0';
147:         4: form1.QRLabel49.Caption := '55.0';
148:         5: form1.QRLabel49.Caption := '65.0';
149:         6: form1.QRLabel49.Caption := '65.0';
150:         7: form1.QRLabel49.Caption := '65.0';
151:         8: form1.QRLabel49.Caption := '84.0';
152:         9: form1.QRLabel49.Caption := '104.0';
153:         10: form1.QRLabel49.Caption := '123.0';
154:         11: form1.QRLabel49.Caption := '143.0';
155:         12: form1.QRLabel49.Caption := '161.5';
156:         13: form1.QRLabel49.Caption := '180.5';
157:         14: form1.QRLabel49.Caption := '180.5';
158:         15: form1.QRLabel49.Caption := '180.5';
159:         16: form1.QRLabel49.Caption := '199.0';
160:         17: form1.QRLabel49.Caption := '206.0';
161:       else
162:       showMessage('Please select value');
```

```
163:       end;
164: end;
165:
166:
167: procedure TForm2.ComboBox16Change(Sender: TObject);
168: begin
169:       case ComboBox16.ItemIndex of
170:         0: form1.QRLabel51.Caption := '20.0';
171:         1: form1.QRLabel51.Caption := '28.0';
172:         2: form1.QRLabel51.Caption := '34.0';
173:         3: form1.QRLabel51.Caption := '45.0';
174:         4: form1.QRLabel51.Caption := '55.0';
175:         5: form1.QRLabel51.Caption := '65.0';
176:         6: form1.QRLabel51.Caption := '65.0';
177:         7: form1.QRLabel51.Caption := '65.0';
178:         8: form1.QRLabel51.Caption := '84.0';
179:         9: form1.QRLabel51.Caption := '104.0';
180:         10: form1.QRLabel51.Caption := '123.0';
181:         11: form1.QRLabel51.Caption:='143.0';
182:         12: form1.QRLabel51.Caption := '161.5';
183:         13: form1.QRLabel51.Caption := '180.5';
184:         14: form1.QRLabel51.Caption := '180.5';
185:         15: form1.QRLabel51.Caption := '180.5';
186:         16: form1.QRLabel51.Caption := '199.0';
187:         17: form1.QRLabel51.Caption := '206.0';
188:       else
189:       showMessage('Please select value');
190:       end;
191: end;
192:
193: procedure TForm2.ComboBox17Change(Sender: TObject);
194: begin
195:         case ComboBox17.ItemIndex of
196:         0: form1.QRLabel53.Caption := '20.0';
197:         1: form1.QRLabel53.Caption := '28.0';
198:         2: form1.QRLabel53.Caption := '34.0';
199:         3: form1.QRLabel53.Caption := '45.0';
200:         4: form1.QRLabel53.Caption := '55.0';
201:         5: form1.QRLabel53.Caption := '65.0';
202:         6: form1.QRLabel53.Caption := '65.0';
203:         7: form1.QRLabel53.Caption := '65.0';
204:         8: form1.QRLabel53.Caption := '84.0';
205:         9: form1.QRLabel53.Caption := '104.0';
206:         10: form1.QRLabel53.Caption := '123.0';
207:         11: form1.QRLabel53.Caption:='143.0';
208:         12: form1.QRLabel53.Caption := '161.5';
209:         13: form1.QRLabel53.Caption := '180.5';
210:         14: form1.QRLabel53.Caption := '180.5';
211:         15: form1.QRLabel53.Caption := '180.5';
212:         16: form1.QRLabel53.Caption := '199.0';
213:         17: form1.QRLabel53.Caption := '206.0';
214:       else
215:       showMessage('Please select value');
216:       end;
217: end;
218:
219: procedure TForm2.ComboBox18Change(Sender: TObject);
220: begin
221:         case ComboBox18.ItemIndex of
222:         0: form1.QRLabel55.Caption := '20.0';
223:         1: form1.QRLabel55.Caption := '28.0';
224:         2: form1.QRLabel55.Caption := '34.0';
225:         3: form1.QRLabel55.Caption := '45.0';
226:         4: form1.QRLabel55.Caption := '55.0';
227:         5: form1.QRLabel55.Caption := '65.0';
228:         6: form1.QRLabel55.Caption := '65.0';
229:         7: form1.QRLabel55.Caption := '65.0';
230:         8: form1.QRLabel55.Caption := '84.0';
231:         9: form1.QRLabel55.Caption := '104.0';
232:         10: form1.QRLabel55.Caption := '123.0';
233:         11: form1.QRLabel55.Caption:='143.0';
234:         12: form1.QRLabel55.Caption := '161.5';
235:         13: form1.QRLabel55.Caption := '180.5';
236:         14: form1.QRLabel55.Caption := '180.5';
237:         15: form1.QRLabel55.Caption := '180.5';
238:         16: form1.QRLabel55.Caption := '199.0';
239:         17: form1.QRLabel55.Caption := '206.0';
240:       else
241:       showMessage('Please select value');
242:       end;
243: end;
```

```
244:
245: procedure TForm2.ComboBox19Change(Sender: TObject);
246: begin
247:          case ComboBox19.ItemIndex of
248:           0: form1.QRLabel57.Caption := '20.0';
249:           1: form1.QRLabel57.Caption := '28.0';
250:           2: form1.QRLabel57.Caption := '34.0';
251:           3: form1.QRLabel57.Caption := '45.0';
252:           4: form1.QRLabel57.Caption := '55.0';
253:           5: form1.QRLabel57.Caption := '65.0';
254:           6: form1.QRLabel57.Caption := '65.0';
255:           7: form1.QRLabel57.Caption := '65.0';
256:           8: form1.QRLabel57.Caption := '84.0';
257:           9: form1.QRLabel57.Caption := '104.0';
258:           10: form1.QRLabel57.Caption := '123.0';
259:           11: form1.QRLabel57.Caption:='143.0';
260:           12: form1.QRLabel57.Caption := '161.5';
261:           13: form1.QRLabel57.Caption := '180.5';
262:           14: form1.QRLabel57.Caption := '180.5';
263:           15: form1.QRLabel57.Caption := '180.5';
264:           16: form1.QRLabel57.Caption := '199.0';
265:           17: form1.QRLabel57.Caption := '206.0';
266:       else
267:       showMessage('Please select value');
268:       end;
269: end;
270:
271: procedure TForm2.ComboBox20Change(Sender: TObject);
272: begin
273:        case ComboBox20.ItemIndex of
274:         0: form1.QRLabel59.Caption := '20.0';
275:         1: form1.QRLabel59.Caption := '28.0';
276:         2: form1.QRLabel59.Caption := '34.0';
277:         3: form1.QRLabel59.Caption := '45.0';
278:         4: form1.QRLabel59.Caption := '55.0';
279:         5: form1.QRLabel59.Caption := '65.0';
280:         6: form1.QRLabel59.Caption := '65.0';
281:         7: form1.QRLabel59.Caption := '65.0';
282:         8: form1.QRLabel59.Caption := '84.0';
283:         9: form1.QRLabel59.Caption := '104.0';
284:         10: form1.QRLabel59.Caption := '123.0';
285:         11: form1.QRLabel59.Caption := '143.0';
286:         12: form1.QRLabel59.Caption := '161.5';
287:         13: form1.QRLabel59.Caption := '180.5';
288:         14: form1.QRLabel59.Caption := '180.5';
289:         15: form1.QRLabel59.Caption := '180.5';
290:         16: form1.QRLabel59.Caption := '199.0';
291:         17: form1.QRLabel59.Caption := '206.0';
292:       else
293:       showMessage('Please select value');
294:       end;
295: end;
296:
297: procedure TForm2.ComboBox21Change(Sender: TObject);
298: begin
299:       case ComboBox21.ItemIndex of
300:         0: form1.QRLabel61.Caption := '20.0';
301:         1: form1.QRLabel61.Caption := '28.0';
302:         2: form1.QRLabel61.Caption := '34.0';
303:         3: form1.QRLabel61.Caption := '45.0';
304:         4: form1.QRLabel61.Caption := '55.0';
305:         5: form1.QRLabel61.Caption := '65.0';
306:         6: form1.QRLabel61.Caption := '65.0';
307:         7: form1.QRLabel61.Caption := '65.0';
308:         8: form1.QRLabel61.Caption := '84.0';
309:         9: form1.QRLabel61.Caption := '104.0';
310:         10: form1.QRLabel61.Caption := '123.0';
311:         11: form1.QRLabel61.Caption := '143.0';
312:         12: form1.QRLabel61.Caption := '161.5';
313:         13: form1.QRLabel61.Caption := '180.5';
314:         14: form1.QRLabel61.Caption := '180.5';
315:         15: form1.QRLabel61.Caption := '180.5';
316:         16: form1.QRLabel61.Caption := '199.0';
317:         17: form1.QRLabel61.Caption := '206.0';
318:       else
319:       showMessage('Please select value');
320:       end;
321: end;
322:
323: procedure TForm2.ComboBox22Change(Sender: TObject);
324: begin
```

```
325:         case ComboBox22.ItemIndex of
326:         0: form1.QRLabel63.Caption := '20.0';
327:         1: form1.QRLabel63.Caption := '28.0';
328:         2: form1.QRLabel63.Caption := '34.0';
329:         3: form1.QRLabel63.Caption := '45.0';
330:         4: form1.QRLabel63.Caption := '55.0';
331:         5: form1.QRLabel63.Caption := '65.0';
332:         6: form1.QRLabel63.Caption := '65.0';
333:         7: form1.QRLabel63.Caption := '65.0';
334:         8: form1.QRLabel63.Caption := '84.0';
335:         9: form1.QRLabel63.Caption := '104.0';
336:         10: form1.QRLabel63.Caption := '123.0';
337:         11: form1.QRLabel63.Caption := '143.0';
338:         12: form1.QRLabel63.Caption := '161.5';
339:         13: form1.QRLabel63.Caption := '180.5';
340:         14: form1.QRLabel63.Caption := '180.5';
341:         15: form1.QRLabel63.Caption := '180.5';
342:         16: form1.QRLabel63.Caption := '199.0';
343:         17: form1.QRLabel63.Caption := '206.0';
344:       else
345:       showMessage('Please select value');
346:       end;
347: end;
348:
349: procedure TForm2.ComboBox23Change(Sender: TObject);
350: begin
351:        case ComboBox23.ItemIndex of
352:         0: form1.QRLabel65.Caption := '20.0';
353:         1: form1.QRLabel65.Caption := '28.0';
354:         2: form1.QRLabel65.Caption := '34.0';
355:         3: form1.QRLabel65.Caption := '45.0';
356:         4: form1.QRLabel65.Caption := '55.0';
357:         5: form1.QRLabel65.Caption := '65.0';
358:         6: form1.QRLabel65.Caption := '65.0';
359:         7: form1.QRLabel65.Caption := '65.0';
360:         8: form1.QRLabel65.Caption := '84.0';
361:         9: form1.QRLabel65.Caption := '104.0';
362:         10: form1.QRLabel65.Caption := '123.0';
363:         11: form1.QRLabel65.Caption := '143.0';
364:         12: form1.QRLabel65.Caption := '161.5';
365:         13: form1.QRLabel65.Caption := '180.5';
366:         14: form1.QRLabel65.Caption := '180.5';
367:         15: form1.QRLabel65.Caption := '180.5';
368:         16: form1.QRLabel65.Caption := '199.0';
369:         17: form1.QRLabel65.Caption := '206.0';
370:       else
371:       showMessage('Please select value');
372:       end;
373: end;
374:
375: procedure TForm2.ComboBox24Change(Sender: TObject);
376: begin
377:         case ComboBox24.ItemIndex of
378:         0: form1.QRLabel67.Caption := '20.0';
379:         1: form1.QRLabel67.Caption := '28.0';
380:         2: form1.QRLabel67.Caption := '34.0';
381:         3: form1.QRLabel67.Caption := '45.0';
382:         4: form1.QRLabel67.Caption := '55.0';
383:         5: form1.QRLabel67.Caption := '65.0';
384:         6: form1.QRLabel67.Caption := '65.0';
385:         7: form1.QRLabel67.Caption := '65.0';
386:         8: form1.QRLabel67.Caption := '84.0';
387:         9: form1.QRLabel67.Caption := '104.0';
388:         10: form1.QRLabel67.Caption := '123.0';
389:         11: form1.QRLabel67.Caption := '143.0';
390:         12: form1.QRLabel67.Caption := '161.5';
391:         13: form1.QRLabel67.Caption := '180.5';
392:         14: form1.QRLabel67.Caption := '180.5';
393:         15: form1.QRLabel67.Caption := '180.5';
394:         16: form1.QRLabel67.Caption := '199.0';
395:         17: form1.QRLabel67.Caption := '206.0';
396:       else
397:       showMessage('Please select value');
398:       end;
399: end;
400:
401: procedure TForm2.ComboBox25Change(Sender: TObject);
402: begin
403:       case ComboBox25.ItemIndex of
404:         0: form1.QRLabel69.Caption := '20.0';
405:         1: form1.QRLabel69.Caption := '28.0';
```

```
406:          2: form1.QRLabel69.Caption := '34.0';
407:          3: form1.QRLabel69.Caption := '45.0';
408:          4: form1.QRLabel69.Caption := '55.0';
409:          5: form1.QRLabel69.Caption := '65.0';
410:          6: form1.QRLabel69.Caption := '65.0';
411:          7: form1.QRLabel69.Caption := '65.0';
412:          8: form1.QRLabel69.Caption := '84.0';
413:          9: form1.QRLabel69.Caption := '104.0';
414:          10: form1.QRLabel69.Caption := '123.0';
415:          11: form1.QRLabel69.Caption := '143.0';
416:          12: form1.QRLabel69.Caption := '161.5';
417:          13: form1.QRLabel69.Caption := '180.5';
418:          14: form1.QRLabel69.Caption := '180.5';
419:          15: form1.QRLabel69.Caption := '180.5';
420:          16: form1.QRLabel69.Caption := '199.0';
421:          17: form1.QRLabel69.Caption := '206.0';
422:        else
423:        showMessage('Please select value');
424:        end;
425: end;
426:
427: procedure TForm2.ComboBox26Change(Sender: TObject);
428: begin
429:        case ComboBox26.ItemIndex of
430:          0: form1.QRLabel71.Caption := '20.0';
431:          1: form1.QRLabel71.Caption := '28.0';
432:          2: form1.QRLabel71.Caption := '34.0';
433:          3: form1.QRLabel71.Caption := '45.0';
434:          4: form1.QRLabel71.Caption := '55.0';
435:          5: form1.QRLabel71.Caption := '65.0';
436:          6: form1.QRLabel71.Caption := '65.0';
437:          7: form1.QRLabel71.Caption := '65.0';
438:          8: form1.QRLabel71.Caption := '84.0';
439:          9: form1.QRLabel71.Caption := '104.0';
440:          10: form1.QRLabel71.Caption := '123.0';
441:          11: form1.QRLabel71.Caption := '143.0';
442:          12: form1.QRLabel71.Caption := '161.5';
443:          13: form1.QRLabel71.Caption := '180.5';
444:          14: form1.QRLabel71.Caption := '180.5';
445:          15: form1.QRLabel71.Caption := '180.5';
446:          16: form1.QRLabel71.Caption := '199.0';
447:          17: form1.QRLabel71.Caption := '206.0';
448:        else
449:        showMessage('Please select value');
450:        end;
451: end;
452:
453: procedure TForm2.ComboBox27Change(Sender: TObject);
454: begin
455:        case ComboBox27.ItemIndex of
456:          0: form1.QRLabel73.Caption := '20.0';
457:          1: form1.QRLabel73.Caption := '28.0';
458:          2: form1.QRLabel73.Caption := '34.0';
459:          3: form1.QRLabel73.Caption := '45.0';
460:          4: form1.QRLabel73.Caption := '55.0';
461:          5: form1.QRLabel73.Caption := '65.0';
462:          6: form1.QRLabel73.Caption := '65.0';
463:          7: form1.QRLabel73.Caption := '65.0';
464:          8: form1.QRLabel73.Caption := '84.0';
465:          9: form1.QRLabel73.Caption := '104.0';
466:          10: form1.QRLabel73.Caption := '123.0';
467:          11:form1.QRLabel73.Caption:='143.0';
468:          12: form1.QRLabel73.Caption := '161.5';
469:          13: form1.QRLabel73.Caption := '180.5';
470:          14: form1.QRLabel73.Caption := '180.5';
471:          15: form1.QRLabel73.Caption := '180.5';
472:          16: form1.QRLabel73.Caption := '199.0';
473:          17: form1.QRLabel73.Caption := '206.0';
474:        else
475:        showMessage('Please select value');
476:        end;
477: end;
478:
479: procedure TForm2.ComboBox28Change(Sender: TObject);
480: begin
481:        case ComboBox28.ItemIndex of
482:          0: form1.QRLabel75.Caption := '20.0';
483:          1: form1.QRLabel75.Caption := '28.0';
484:          2: form1.QRLabel75.Caption := '34.0';
485:          3: form1.QRLabel75.Caption := '45.0';
486:          4: form1.QRLabel75.Caption := '55.0';
```

```
487:          5: form1.QRLabel75.Caption := '65.0';
488:          6: form1.QRLabel75.Caption := '65.0';
489:          7: form1.QRLabel75.Caption := '65.0';
490:          8: form1.QRLabel75.Caption := '84.0';
491:          9: form1.QRLabel75.Caption := '104.0';
492:          10: form1.QRLabel75.Caption := '123.0';
493:          11: form1.QRLabel75.Caption:='143.0';
494:          12: form1.QRLabel75.Caption := '161.5';
495:          13: form1.QRLabel75.Caption := '180.5';
496:          14: form1.QRLabel75.Caption := '180.5';
497:          15: form1.QRLabel75.Caption := '180.5';
498:          16: form1.QRLabel75.Caption := '199.0';
499:          17: form1.QRLabel75.Caption := '206.0';
500:       else
501:       showMessage('Please select value');
502:       end;
503: end;
504:
505:
506:
507: procedure TForm2.ComboBox29Change(Sender: TObject);
508: begin
509:     case ComboBox29.ItemIndex of
510:          0: Label51.Caption := '1';
511:          1: Label51.Caption :='2';
512:          2: Label51.Caption := '3';
513:          3: Label51.Caption := '4';
514:          4: Label51.Caption := '5';
515:          5: Label51.Caption := '6';
516:          6: Label51.Caption := '7';
517:          7: Label51.Caption := '8';
518:          8: Label51.Caption := '9';
519:          9: Label51.Caption := '10';
520:         10: Label51.Caption := '15';
521:         11: Label51.Caption := '20';
522:         12: Label51.Caption := '30';
523:       else
524:       showMessage('Please select value');
525:       end;
526:
527: end;
528:
529:
530: end.
531:
532:
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
unit Unit3;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, StdCtrls, ExtCtrls;

type
  TForm3 = class(TForm)
    Label1: TLabel;
    GroupBox1: TGroupBox;
    Label2: TLabel;
    Edit1: TEdit;
    Label3: TLabel;
    Label4: TLabel;
    Edit2: TEdit;
    Label5: TLabel;
    GroupBox2: TGroupBox;
    Label6: TLabel;
    Edit3: TEdit;
    Label7: TLabel;
    Label8: TLabel;
    Edit4: TEdit;
    Label9: TLabel;
    GroupBox3: TGroupBox;
    RadioButton1: TRadioButton;
    RadioButton2: TRadioButton;
    RadioButton3: TRadioButton;
    GroupBox4: TGroupBox;
    RadioButton6: TRadioButton;
    RadioButton7: TRadioButton;
    Label10: TLabel;
    Edit5: TEdit;
    Label11: TLabel;
    Label12: TLabel;
    Edit6: TEdit;
    Label13: TLabel;
    Button1: TButton;
    procedure Button1Click(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  Form3: TForm3;

implementation

{$R *.dfm}

procedure TForm3.Button1Click(Sender: TObject);
var Q,Hw,H0,Hp,Qmax,dH,a,b:variant;

begin
Q:=strtofloat(edit1.text);
Hw:=strtofloat(edit2.text);
H0:=strtofloat(edit5.text);
Hp:=strtofloat(edit6.text);
Qmax:=0.0036;

     if  (radioButton1.Checked and radioButton6.Checked)  then
         begin  dH := Hw-H0;
                a:= dH/Hp;
                b:=Q/Qmax;
                begin  if ((a=0.8) and (b=0.21)) then
                            begin edit3.text:='20';
                                  edit4.text:='1';
                            end;
                       if ((a=0.81) and (b=0.12)) then
                            begin edit3.text:='20';
                                  edit4.text:='Full';
                            end;
                       if ((a=0.76) and (b=0.35)) then
                            begin edit3.text:='30';
                                  edit4.text:='1' ;
                            end;
                       if ((a=0.87) and (b=0.35)) then
                            begin edit3.text:='30';
```

```
 82:                                     edit4.text:='2';
 83:                                end;
 84:                           if ((a=0.86) and (b=0.35)) then
 85:                                begin edit3.text:='30';
 86:                                     edit4.text:='Full';
 87:                                end
 88:                           else  ShowMessage('Q,Hp,Hw & H0 NOT MATCH. Please enter
     new valve!');
 89:                           end;
 90:
 91:           end;
 92:         if  (radioButton1.Checked and radioButton7.Checked)  then
 93:           begin   dH := H0-Hw;
 94:                   a:= dH/Hp;
 95:                   b:=Q/Qmax;
 96:                 begin  if ((a=0.38) and (b=0.05)) then
 97:                                begin edit3.text:='10';
 98:                                     edit4.text:='1';
 99:                                end;
100:                           if ((a=0.39) and (b=0.04)) then
101:                                begin edit3.text:='10';
102:                                     edit4.text:='3';
103:                                end;
104:                           if ((a=0.38) and (b=0.04)) then
105:                                begin edit3.text:='10';
106:                                     edit4.text:='Full' ;
107:                                end;
108:                           if ((a=0.89) and (b=0.13)) then
109:                                begin edit3.text:='20';
110:                                     edit4.text:='2';
111:                                end;
112:                           if ((a=0.89) and (b=0.14)) then
113:                                begin edit3.text:='20';
114:                                     edit4.text:='3';
115:                                end;
116:                           if ((a=0.84) and (b=0.12)) then
117:                                begin edit3.text:='20';
118:                                     edit4.text:='Full';
119:                                end
120:                           else  ShowMessage('Q,Hp,Hw & H0 NOT MATCH. Please enter
     new valve!');
121:                           end;
122:         end;
123: end;
124: end.
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
 1: unit uComProc;
 2:
 3: interface
 4:
 5: uses
 6:   Classes, Windows;
 7:
 8: type
 9:   TcommProcess = class(TThread)
10:   private
11:     { Private declarations }
12:   protected
13:     procedure Execute; override;
14:   public
15:     constructor Create( suspend : boolean );
16:   end;
17:
18: implementation
19:
20: uses uTsCom32;
21:
22: constructor TcommProcess.Create( suspend : boolean );
23: begin
24:   freeOnTerminate:=true;
25:   inherited Create( suspend );
26: end;
27:
28: procedure TcommProcess.Execute;
29: begin
30:   repeat
31:     Synchronize( FtsCom32.DoProcess ); sleep(10);
32:   until ( terminated );
33: end;
34:
35: end.
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
 1: unit uComm32;
 2:
 3: interface
 4:
 5: uses Classes, Dialogs, Messages, SysUtils, Windows;
 6:
 7: const
 8:   // define max comm. port possible
 9:   MAX_COMM_PORT = 4;
10:
11: type
12:
13:   TCommInfo = record
14:     hCommFile : THandle;
15:     commPort  : byte;
16:     rxBuffer  : integer;
17:     txBuffer  : integer;
18:     baudRate  : integer;
19:     byteSize  : integer;
20:     parity    : integer;
21:     stopBits  : integer;
22:     errorFlg  : boolean;
23:   end;
24:
25:   Tcomm32 = class( tobject )'
26:   public
27:       myCommInfo : TCommInfo;
28:     Constructor Create( dspStr:Tstrings; commInfo:TCommInfo );
29:     Destructor  Free;
30:
31:     function  SendData(dataP:pointer; dataLen:dword) : integer;
32:     function  ReadData(dataP:pointer; dataLen:dword) : integer;
33:
34:   private
35:       commDcb      : Tdcb;
36:       commProp     : TCommProp;
37:       evtMask      : dword;
38:       commTimeOuts : TCommTimeouts;
39:       dispStr      : Tstrings;
40:       overlapWrite : TOverlapped;
41:       overlapRead  : TOverlapped;
42:     procedure Echo( content : shortString );
43:
44:     procedure DispComDCB( var dspDcb : Tdcb );
45:     procedure DispComProperties( var dspProp : TCommProp );
46:     procedure DispComTimeouts( var dspComTmeOut : TCommTimeouts );
47:
48:     procedure VerifyCommInfo( var commInfo : TCommInfo );
49:     procedure OpenComm32( var commInfo : TCommInfo );
50:     procedure CloseComm32;
51:   end;
52:
53: implementation
54:
55: //-------------------------------------------------------------
56:
57: constructor Tcomm32.Create(dspStr:Tstrings; commInfo:TCommInfo);
58: begin
59:   inherited Create;
60:   dispStr:=dspStr;
61:   fillchar( commDcb, sizeof( Tdcb ),0 );
62:   fillchar( commProp, sizeof( TCommProp ),0 );
63:   fillchar( commTimeOuts, sizeof( TCommTimeouts ),0 );
64:   fillchar( overlapWrite, sizeof( TOverlapped ),0 );
65:   fillchar( overlapRead, sizeof( TOverlapped ),0 );
66:   OpenComm32( commInfo );
67: end;
68:
69: destructor Tcomm32.Free;
70: begin
71:   CloseComm32;
72: end;
73:
74: //-------------------------------------------------------------
75:
76: procedure Tcomm32.Echo( content : shortString );
77: begin
78:   if ( dispStr=nil ) then exit;
79:   if ( dispStr.count>300 ) then dispStr.delete(0);
80:   dispStr.add( content );
81: end;
```

```
82:
83: procedure Tcomm32.DispComDCB( var dspDcb : Tdcb );
84: begin
85:   with dspDcb do
86:   begin
87:     Echo( 'Communications Device Control Block information : ' );
88:     Echo( '  DCBLength = '+IntToStr( DCBLength ) );
89:     Echo( '  BaudRate  = '+IntToStr( BaudRate ) );
90:     Echo( '  Flags     = '+IntToStr( Flags ) );
91:     Echo( '  wReserved = '+IntToStr( wReserved ) );
92:     Echo( '  XonLim    = '+IntToStr( XonLim ) );
93:     Echo( '  XoffLim   = '+IntToStr( XoffLim ) );
94:     Echo( '  ByteSize  = '+IntToStr( byteSize ) );
95:     Echo( '  Parity    = '+IntToStr( Parity ) );
96:     Echo( '  StopBits  = '+IntToStr( StopBits ) );
97:     Echo( '  XonChar   = "'+XonChar+'"' );
98:     Echo( '  XffChar   = "'+XoffChar+'"' );
99:     Echo( '  ErrorChar = "'+errorChar+'"' );
100:    Echo( '  EofChar   = "'+EofChar+'"' );
101:    Echo( '  EvtChar   = "'+EvtChar+'"' );
102:    Echo( '  wReserved1= '+IntToStr( wReserved1 ) ); Echo( ' ' );
103:  end;
104: end;
105:
106: procedure Tcomm32.DispComProperties( var dspProp : TCommProp );
107: begin
108:   with dspProp do
109:   begin
110:     Echo('Communications Properties : ' );
111:     Echo('  wPacketLength      = '+IntToStr(wPacketLength));
112:     Echo('  wPacketVersion     = '+IntToStr(wPacketVersion));
113:     Echo('  dwServiceMask      = '+IntToStr(dwServiceMask));
114:     Echo('  dwReserved1        = '+IntToStr(dwReserved1));
115:     Echo('  dwMaxTxQueue       = '+IntToStr(dwMaxTxQueue));
116:     Echo('  dwMaxRxQueue       = '+IntToStr(dwMaxRxQueue));
117:     Echo('  dwMaxBaud          = '+IntToStr(dwMaxBaud));
118:     Echo('  dwProvSubType      = '+IntToStr(dwProvSubType));
119:     Echo('  dwProvCapabilities = '+IntToStr(dwProvCapabilities));
120:     Echo('  dwSettablePrrams   = '+IntToStr(dwSettableParams));
121:     Echo('  dwSettableBaud     = '+IntToStr(dwSetTableBaud));
122:     Echo('  wSettableData      = '+IntToStr(wSetTableData));
123:     Echo('  wSetTableStopParity= '+IntToStr(wSetTableStopParity));
124:     Echo('  dwCurrentTxQueue   = '+IntToStr(dwCurrentTxQueue ));
125:     Echo('  dwCurrentRxQueue   = '+IntToStr(dwCurrentRxQueue ));
126:     Echo('  dwProvSpec1        = '+IntToStr(dwProvSpec1));
127:     Echo('  dwProvSpec2        = '+IntToStr(dwProvSpec2));
128:     Echo(' ' );
129:   end;
130: end;
131:
132: procedure Tcomm32.DispComTimeouts(var dspComTmeOut:TCommTimeouts);
133: begin
134:   with dspComTmeOut do
135:   begin
136:     Echo('Communications Timeouts information : ' );
137:     Echo('  ReadIntervalTimeout          = '+
138:          IntToStr( ReadIntervalTimeout ) );
139:     Echo('  ReadTotalTimeoutMultiplier   = '+
140:          IntToStr( ReadTotalTimeoutMultiplier ) );
141:     Echo('  ReadTotalTimeoutConstant     = '+
142:          IntToStr( ReadTotalTimeoutConstant ) );
143:     Echo('  WriteTotalTimeoutMultiplier  = '+
144:          IntToStr( WriteTotalTimeoutMultiplier ) );
145:     Echo('  WriteTotalTimeoutConstant    = '+
146:          IntToStr( WriteTotalTimeoutConstant ) );
147:     Echo(' ' );
148:   end;
149: end;
150:
151: //-------------------------------------------------------------------
152:
153: procedure Tcomm32.VerifyCommInfo( var commInfo : TCommInfo );
154: begin
155:   with commInfo do
156:   begin
157:     if ( not commPort in [1..MAX_COMM_PORT] ) then commPort:=1;
158:     if ( rxBuffer<4096 ) then rxBuffer:=4096;
159:     if ( txBuffer<1024 ) then txBuffer:=1024;
160:     if ( baudRate<1 ) then baudRate:=CBR_9600;
161:     if ( not byteSize in [ 4..8 ] ) then byteSize:=8;
162:     if ( not parity in [ EVENPARITY,MARKPARITY,NOPARITY,
```

```
163:       ODDPARITY ] ) then parity:=NOPARITY;
164:     if not stopBits in [ONESTOPBIT,ONE5STOPBITS,TWOSTOPBITS] then
165:       stopBits:=ONESTOPBIT;
166:   end;
167: end;
168:
169: procedure Tcomm32.OpenComm32( var commInfo : TCommInfo );
170: var commPortP : pchar; commPortStr,s : ShortString;
171: begin
172:   myCommInfo:=commInfo; commPortP:=@commPortStr[1];
173:   VerifyCommInfo( myCommInfo );
174:   fillchar( commPortStr, sizeof( ShortString ), 0 );
175:   with myCommInfo do
176:   begin
177:     commPortStr:='COM'+IntToStr( commPort );
178:     hCommFile:=CreateFile(commPortP, GENERIC_READ+GENERIC_WRITE,
179:                 0, nil, OPEN_EXISTING, FILE_FLAG_OVERLAPPED, 0);
180:     // comm. handle is valid?
181:     if ( hCommFile=INVALID_HANDLE_VALUE ) then
182:     begin
183:       s:='Error on open '+commPortStr;
184:       Echo( s+', error code = '+IntToStr( GetLastError ) );
185:       ShowMessage( s ); exit;
186:     end;
187:     if ( GetFileType( hCommFile )<>FILE_TYPE_CHAR ) then
188:     begin
189:       s:='Handle is not COM port.'; Echo( s );
190:       ShowMessage( s ); exit;
191:     end;
192:     // get all comm. properties
193:     GetCommState( hCommFile, commDcb );
194:     GetCommProperties( hCommFile, commProp );
195:     GetCommMask( hCommFile, evtMask );
196:     GetCommTimeOuts( hCommFile, commTimeOuts );
197:     // config necessary comm. properties
198:     SetupComm( hCommFile, rxBuffer, txBuffer );
199:     commTimeOuts.ReadIntervalTimeout:= MAXDWORD; // set timeout
200:     commTimeOuts.ReadTotalTimeoutMultiplier:=0;
201:     commTimeOuts.ReadTotalTimeoutConstant:=0;
202:     SetCommTimeouts( hCommFile, commTimeOuts );
203:     Echo( 'evtmask = '+IntToStr( evtMask ) );
204:     evtMask:=EV_RXCHAR;
205:     SetCommMask( hCommFile, evtMask );
206:     commDcb.baudRate:=baudRate;
207:     commDcb.parity:=Parity;
208:     commDcb.stopBits:=StopBits;
209:     commDcb.byteSize:=byteSize;
210:     SetCommState( hCommFile, commDcb );
211:     errorFlg:=false;
212:     // Display comm. properties
213:     Echo( commPortStr+' open successfully.' );
214:     DispComDCB( commDcb );
215:     DispComProperties( commProp );
216:     DispComTimeouts( commTimeOuts );
217:   end;
218: end;
219:
220: procedure Tcomm32.CloseComm32;
221: begin
222:   if ( myCommInfo.hCommFile>0 ) then
223:     CloseHandle( myCommInfo.hCommFile );
224: end;
225:
226: function Tcomm32.SendData( dataP : pointer;
227:                            dataLen : dword ) : integer;
228: var byteSend : dword;
229: begin
230:   result:=-1; byteSend:=0;
231:   if ( not WriteFile( myCommInfo.hCommFile, dataP^, dataLen,
232:     byteSend, @overlapWrite ) ) then exit;
233:   result:=byteSend;
234: end;
235:
236: function Tcomm32.ReadData( dataP : pointer;
237:                            dataLen : dword ) : integer;
238: var byteRead : dword; overlapReadP : POverlapped;
239:     nNumberOfBytesRead : dword; ret : boolean;
240: begin
241:   byteRead:=0; overlapReadP:=@overlapRead; nNumberOfBytesRead:=0;
242:   if ( not ReadFile( myCommInfo.hCommFile, dataP^, dataLen,
243:     byteRead, overlapReadP ) ) then exit;
```

```
244:    ret:=GetOverlappedResult( myCommInfo.hCommFile, overlapReadP^,
245:           nNumberOfBytesRead, true );
246:    result:=byteRead;
247: end;
248:
249: end.
250:
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
unit uTsCom32;
{$H-}
interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls,
  Forms, Dialogs, uComm32, StdCtrls, Buttons, ExtCtrls, Gauges;

type
  TIKBs = array[ 0..1023 ] of char;
  TFtsCom32 = class(TForm)
    BitBtn1: TBitBtn;
    Memo1: TMemo;
    RadioGroup1: TRadioGroup;
    RadioGroup2: TRadioGroup;
    Bevel1: TBevel;
    Edit1: TEdit;
    BitBtn2: TBitBtn;
    BitBtn3: TBitBtn;
    Bevel2: TBevel;
    BitBtn4: TBitBtn;
    Panel1: TPanel;
    Panel2: TPanel;
    Panel3: TPanel;
    Panel4: TPanel;
    Gauge1: TGauge;
    OpenDialog1: TOpenDialog;
    Image1: TImage;
    Button1: TButton;
    procedure FormCreate(Sender: TObject);
    procedure FormCloseQuery(Sender:TObject; var CanClose:Boolean);
    procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);
    procedure BitBtn2Click(Sender: TObject);
    procedure BitBtn3Click(Sender: TObject);
    procedure BitBtn4Click(Sender: TObject);
    procedure Button1Click(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
      commInfo : TcommInfo;
      rxCounter, txCounter : longint;
    procedure InitVar;
    procedure ReleaseVar;
    procedure Echo( content : shortString );

    function  GetBaudRateValue : integer;

    procedure SendFile( fileName : shortString );
    procedure Write2File( fileName : shortString;
                          dataP : pointer; len:integer );

  public
    { Public declarations }
      commProc : Tcomm32;
    procedure DoProcess;
  end;

var
  FtsCom32: TFtsCom32;

implementation

uses uComProc, Unit4;

{$R *.DFM}

//---------------------------------------------------------------------

procedure TFtsCom32.InitVar;
begin
  commProc:=nil; rxCounter:=0; txCounter:=0;
  fillchar( commInfo, sizeof( TcommInfo ), 0 );
end;

procedure TFtsCom32.ReleaseVar;
begin
  if ( commProc<>nil ) then commProc.Free;
end;

procedure TFtsCom32.Echo( content : shortString );
begin
  if ( memo1.lines.count>300 ) then memo1.lines.delete(0);
```

```
 82:   memo1.lines.add( content );
 83:   Application.ProcessMessages;
 84: end;
 85:
 86: //---------------------------------------------------------------------
 87:
 88: function TFtsCom32.GetBaudRateValue : integer;
 89: var brsel : integer;
 90: begin
 91:   brsel:=CBR_9600;
 92:   case RadioGroup2.ItemIndex of
 93:     0 : brsel:=CBR_2400;
 94:     1 : brsel:=CBR_4800;
 95:     2 : brsel:=CBR_9600;
 96:     3 : brsel:=CBR_14400;
 97:     4 : brsel:=CBR_19200;
 98:     5 : brsel:=CBR_38400;
 99:     6 : brsel:=CBR_56000;
100:     7 : brsel:=CBR_115200;
101:   end;
102:   result:=brsel;
103: end;
104:
105: procedure TFtsCom32.SendFile( fileName : shortString );
106: var fp : file; data : T1KBs;'dataP : pChar;
107:     size, byteRead : integer;
108: begin
109:   if ( not fileExists( fileName ) ) then
110:   begin
111:     ShowMessage( fileName+' file not found.' ); exit;
112:   end;
113:   dataP:=@data[0]; size:=sizeof( T1KBs ); txCounter:=0;
114:   assignFile( fp, fileName ); reset( fp,1 );
115:   Gauge1.MaxValue:=fileSize( fp );
116:   repeat
117:     blockRead( fp, dataP^, size, byteRead );
118:     if ( byteRead>0 ) then
119:     begin
120:       commProc.SendData( dataP, byteRead );
121:       inc( txCounter, byteRead );
122:       Panel4.caption:=IntToStr( txCounter );
123:       Gauge1.Progress:=txCounter;
124:       Application.ProcessMessages;
125:       Sleep(500);
126:     end;
127:   until ( byteRead=0 );
128:   closeFile( fp );
129:   Gauge1.Progress:=0;
130: end;
131:
132: procedure TFtsCom32.Write2File( fileName : shortString;
133:                                 dataP : pointer; len:integer );
134: var fp : file; ret : integer;
135: begin
136:   if ( not fileExists( fileName ) ) then
137:   begin
138:     assignFile( fp, fileName ); rewrite( fp,1 );
139:   end else
140:   begin
141:     assignFile( fp, fileName ); reset( fp,1 );
142:   end;
143:   seek( fp, fileSize( fp ) );
144:   blockWrite( fp, dataP^, len, ret );
145:   closeFile( fp );
146:   inc( rxCounter, len );
147:   Panel2.caption:=IntToStr( rxCounter );
148:   Application.ProcessMessages;
149: end;
150:
151: //---------------------------------------------------------------------
152:
153: procedure TFtsCom32.DoProcess;
154: var data : T1KBs; dataP : pchar; ret : integer;
155: begin
156:   if ( commProc=nil ) then exit;
157:   dataP:=@data[0];
158:   ret:=commProc.ReadData( dataP, 1024 );
159:   if ( ret>0 ) then
160:   begin
161:     Write2File( OpenDialog1.fileName, dataP, ret );
162:   end;
```

```
163: end;
164:
165: //---------------------------------------------------------------------
166:
167: procedure TFtsCom32.FormCreate(Sender: TObject);
168: begin
169:   left:=0; top:=0;
170:   InitVar;
171: end;
172:
173: procedure TFtsCom32.FormCloseQuery(Sender: TObject;
174:                                    var CanClose: Boolean);
175: begin
176:   ReleaseVar;
177:   CanClose:=true;
178: end;
179:
180: //---------------------------------------------------------------------
181:
182: procedure TFtsCom32.BitBtn1Click(Sender: TObject);
183: begin
184:   with commInfo do
185:   begin
186:     commPort:=RadioGroup1.ItemIndex+1;
187:     rxBuffer:=8072;
188:     txBuffer:=2048;
189:     baudRate:=GetBaudRateValue;
190:     byteSize:=8;
191:     parity:=NOPARITY;
192:     stopBits:=ONESTOPBIT;
193:   end;
194:   commProc:=Tcomm32.Create( memo1.lines, commInfo );
195: end;
196:
197: procedure TFtsCom32.BitBtn2Click(Sender: TObject);
198: var s : shortString; sP : pChar;
199: begin
200:   if ( commProc=nil ) then exit;
201:   s:=Edit1.text; sP:=@s[1];
202:   commProc.SendData( sP, length( s ) );
203: end;
204:
205: procedure TFtsCom32.BitBtn3Click(Sender: TObject);
206: begin
207:   if ( commProc=nil ) then exit;
208:   if ( OpenDialog1.Execute ) then
209:   begin
210:     Echo( 'Sending file >'+OpenDialog1.fileName );
211:     SendFile( OpenDialog1.FileName );
212:   end;
213: end;
214:
215: procedure TFtsCom32.BitBtn4Click(Sender: TObject);
216: begin
217:   if ( commProc=nil ) then exit;
218:   if ( OpenDialog1.Execute ) then
219:   begin
220:     rxCounter:=0;
221:     Echo( 'Recording to file >'+OpenDialog1.fileName );
222:     with TcommProcess.Create( true ) do
223:     begin
224:       resume;
225:     end;
226:   end;
227: end;
228:
229: procedure TFtsCom32.Button1Click(Sender: TObject);
230: begin
231: form4.close;
232: end;
233:
234: end.
235:
236:
```

```
 1: unit Unit4;
 2:
 3: interface
 4:
 5: uses
 6:   Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
 7:   Dialogs, StdCtrls, jpeg, ExtCtrls;
 8:
 9: type
10:   TForm4 = class(TForm)
11:     Button1: TButton;
12:     Label1: TLabel;
13:     Label2: TLabel;
14:     Label3: TLabel;
15:     Label4: TLabel;
16:     Label5: TLabel;
17:     Image1: TImage;
18:     Label6: TLabel;
19:     Label7: TLabel;
20:     Label8: TLabel;
21:     Label9: TLabel;
22:     Label10: TLabel;
23:     Label11: TLabel;
24:     procedure Button1Click(Sender: TObject);
25:   private
26:     { Private declarations }
27:   public
28:     { Public declarations }
29:   end;
30:
31: var
32:   Form4: TForm4;
33:
34: implementation
35:
36: uses formMain;
37:
38: {$R *.dfm}
39:
40: procedure TForm4.Button1Click(Sender: TObject);
41:
42: begin
43: frmMain.show;
44: end;
45:
46: end.
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย